



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA E FÍSICO-QUÍMICA
CURSO BACHARELADO EM QUÍMICA

JOSÉ RODRIGO FERREIRA MACIEL

**INFLUÊNCIA DA ÁGUA NO PROCESSO DE CORROSÃO EM TUBULAÇÕES DE
ETAs E REDES DE DISTRIBUIÇÃO**

FORTALEZA

2019

JOSÉ RODRIGO FERREIRA MACIEL

INFLUÊNCIA DA ÁGUA NO PROCESSO DE CORROSÃO EM TUBULAÇÕES DE ETAs
E REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Monografia apresentada ao Curso de Química do Departamento de Química Analítica e Físico-Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Química com Habilitação Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Belminio Romero.

Co-orientadora: Dra. Erika de Almeida Sampaio Braga

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M138i Maciel, José Rodrigo Ferreira.
INFLUÊNCIA DA ÁGUA NO PROCESSO DE CORROSÃO EM TUBULAÇÕES DE ETAs E REDES DE
DISTRIBUIÇÃO / José Rodrigo Ferreira Maciel. – 2019.
73 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,
Curso de Química, Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Francisco Belmino Romero .

Coorientação: Profa. Dra. Érika de Almeida Sampaio Braga .

1. Sistema de abastecimento de água. 2. Corrosão. 3. Índices de estabilidade da água. I. Título.

CDD 540

JOSÉ RODRIGO FERREIRA MACIEL

INFLUÊNCIA DA ÁGUA NO PROCESSO DE CORROSÃO EM TUBULAÇÕES DE ETAs
E REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Monografia apresentada ao Curso de Química do Departamento de Química Analítica e Físico-Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Química com Habilitação Industrial.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. LD. Francisco Belmino Romero (Orientador Pedagógico)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra Érika de Almeida Sampaio Braga (Orientadora Profissional)
Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC)

MSc. Luzia Suerlange Araújo dos Santos Mendes
Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC)

A Deus.

Aos meus pais, Afrânio e Rosania

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado forças, fé e inspiração para chegar até aqui. Por ter me guiado e me protegido de todo o mal.

Aos meus pais, Francisca Rosania Ferreira e José Afrânio Maciel, por terem me dado todo apoio, toda educação, todo carinho e toda motivação do mundo. Obrigado pelas palavras de carinho e amor. Agradeço por terem, incansavelmente, incentivado os meus estudos; por serem meus maiores exemplos de luta e perseverança. Agradeço por serem meu porto seguro.

À minha vó, Linete Ferreira, pelo apoio, pelo amor e preocupação que teve comigo nos momentos mais difíceis da minha vida.

Às minhas irmãs, Maria de Fátima Ferreira e Clara Ferreira, pela companhia e compreensão que tiveram comigo.

À minha prima, Iara Danielle, pela amizade e apoio na minha vida acadêmica e pessoal. Obrigado por tudo.

Ao meu orientador pedagógico, Prof. Dr. Francisco Belmino Romero, pela orientação. Agradeço pela disponibilidade, pela ajuda e motivação de tornar esse trabalho possível. Um grande professor e um excelente profissional que eu vou levar para o resto da vida.

À minha querida orientadora profissional, Dra Érika de Almeida Sampaio Braga, por ter me aceitado no laboratório. Agradeço pelas palavras de motivação, pela companhia no dia-a-dia, pelo incentivo e amizade. Obrigado pelo enorme auxílio desse trabalho. Agradeço ainda por acreditar no meu potencial.

À minha melhor amiga, Tayná Mendes, pela amizade e por sempre me apoiar em todos os períodos difíceis da minha vida. Agradeço por ter passado os momentos mais felizes e tristes da graduação ao seu lado. Agradeço pelas palavras de carinho e conforto que você me proporcionou. Agradeço por ter segurado na minha mão e nunca ter soltado por mais triste e pessimista que eu estava. Obrigado por todo o suporte que você me deu.

À minha querida professora e ex-orientadora, Otília Deusdênia Loiola Pessoa, por todo conhecimento transmitido, pelo apoio e paciência que teve comigo no período que eu fui bolsista de iniciação científica.

Às minhas queridas amigas da UECE, Stephany Swellen, Danielle Matos, Ana Luiza, Roniele Felix, Dalila Barbosa, Katiany Abreu e Ana Eufrazio mesmo que não estejamos a todo momento perto fisicamente, nossa amizade vai além da distância e sei o quanto vocês torcem por mim. Obrigado pelo apoio, meninas. Eu tenho um carinho imenso por vocês.

Aos meus amigos de escola Lucas Vasconcelos, Luana Castro e Liz Sales por terem permanecido em minha vida, mesmo depois de vários anos. Tenho a convicção que construímos uma amizade para vida toda.

Aos meus amigos de faculdade Lorena Siqueira, Nivea Morais, Mayara Pereira, Vinícius Morais, Maria Luiza, Erivelton Menezes, Neilyane Fernandes, Matheus Victor, Marília Mota, Daiane Freita, Davi Leite e Vitor Costa pelo companheirismo, pela amizade e pelos conselhos que compartilharam comigo durante essa jornada.

Aos meus amigos do Lafiplam, Taynara Matos, Luís Alves, Francisco das Chagas, Amanda Kesya, Luana Brito, Herbert Magalhães, Alison Batista e Patrícia pelos momentos de aprendizado e, principalmente, pelos momentos divertidos que vocês me proporcionaram durante a minha passagem ao lado de vocês.

Aos funcionários da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial - NUTEC, em especial as técnicas Christiane e Eirilândia pela ajuda e paciência durante esse tempo. Agradeço aos estagiários Samile, Jaqueline, Felipe e, em especial, Maria Rodrigues pela amizade, pelo convívio no laboratório e por permitir compartilhar momentos de desespero e felicidade da graduação. Obrigado por sempre deixarem o ambiente de trabalho alegre e harmonioso.

Aos meus amigos da agronomia, prof. Dr. Claudivan, Dra. Leila e a Dra. Sassá pela amizade, oportunidades e motivação.

A Universidade Federal do Ceará pela oportunidade de crescer como profissional e aos professores, em especial a professora Adriana, que contribuíram de forma direta ou indiretamente para minha formação.

Ao NUTEC pela oportunidade de estágio e por ter cedido o espaço para que esse trabalho fosse possível.

E, por fim, a todos de que certa forma contribuiu para o meu crescimento profissional.

“Um homem nunca se banha duas vezes no mesmo rio. Porque o homem nunca é o mesmo. E nunca é o mesmo rio.”

Heráclito de Éfeso (470 d.C)

RESUMO

O abastecimento de água é um serviço essencial à vida dos seres humanos que, por sua vez, atende tanto as necessidades fisiológicas quanto mantem as atividades agrícolas. No entanto, problemas como a corrosão nas tubulações dos sistemas de abastecimento de água provoca contaminação e diminui a qualidade para o consumo humano. Cabe ressaltar que a degradação causada pelo material e o meio corrosivo faz com que ocorra perda de propriedades mecânicas e funcionalidade do equipamento. Partindo dessa premissa, o objetivo desse trabalho foi avaliar como as propriedades físico-químicas que definem a qualidade da água de ETAs e redes de distribuição de três municípios do estado do Ceará de acordo com PRC nº 05/17 MS podem influenciar na corrosão ocasionada em uma tubulação. Para a realização das análises físico-químicas, foram seguidos os procedimentos descritos em (APHA, 2012). Além disso, aplicou-se os resultados dos parâmetros nos índices de estabilidade da água (Índices de Saturação de Langelier (LSI) e de Estabilidade de Ryznar (RSI)) onde constatou-se que maioria das amostras apresentavam tendência corrosiva.

Palavras-chave: Sistema de abastecimento de água. Corrosão. Índices de estabilidade da água.

ABSTRACT

Water supply is an essential service to human life, which in turn meets both physiological needs and agricultural activities. However, problems such as corrosion in water supply pipes cause contamination and decrease the quality of human consumption. It is noteworthy that the degradation caused by the material and the corrosive environment cause the loss of mechanical properties and the functionality of the equipment. Based on this premise, the objective of this work was evaluated as physicochemical properties that define the water quality of the ETAs and distribution networks of three municipalities of the state of Ceará according to PRC No. 05/17 MS can influence the occasional corrosion in a pipe. In addition, the results of the water stability indices (Langelier Saturation Indices (LSI) and Ryznar Stability (RSI)) are presented where the factors of the currently corrosive variables are shown.

Keywords: Water supply system. Corrosion. Sater stability índices.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ponte de Hidrogênio.....	16
Figura 2 – Ciclo hidrológico da água.....	17
Figura 3 – Componentes de abastecimento de água.....	21
Figura 4 – Manancial para captação de água do estado do Ceará – açude Castanhão	21
Figura 5 – Captação em poço profundo.....	23
Figura 6 – Posicionamento de elevatórias em um sistema de abastecimento de água.....	24
Figura 7 – Estação elevatória de água bruta.....	24
Figura 8 – Estação de tratamento de água do Estado do Ceará.....	26
Figura 9 – Técnicas de tratamento de água.....	27
Figura 10 – Reservatório elevado.....	31
Figura 11 – Exemplo de rede ramificada.....	32
Figura 12 – Exemplo de rede malhada.....	32
Figura 13 – Exemplo de rede mista.....	32
Figura 14 – Corrosão química em uma tubulação.....	34
Figura 15 – Pilha galvânica uma tubulação de aço, na vertical, e uma tubulação de cobre, na horizontal.....	36
Figura 16 – Mapeamento dos municípios.....	49
Figura 17 – Eletrodo de vidro Combinado para medidas.....	50
Figura 18 – pHmetro e eletrodo de vidro.....	51
Figura 19 – Condutivímetro.....	52
Figura 20 – Ponto final da titulação através da.....	53
Figura 21 – Formação do complexo rosa Ca - murexida.....	54
Figura 22 – Alteração de coloração do ponto final.....	55
Figura 23 – Quelatos de Ca^{2+} e Mg^{2+}	55
Figura 24 – Mudança da cor no ponto final.....	56
Figura 25 – Reação do indicador fenolftaleína:.....	58
Figura 26 – Reação do indicador alaranjado de metila:.....	58
Figura 27 – Mudança de cor no ponto final da determinação da alcalinidade total.....	59
Figura 28 – Mostra a reação de Fe^{2+} com orto-fenantrolina.....	60
Figura 29 – Complexo de Ferrolina.....	60
Figura 30 – Espectrofotômetro.....	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Total de municípios sem rede geral de abastecimento de água	19
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição de água doce no mundo.....	18
Tabela 2 - Cobertura por abastecimento de água no Brasil – ano 2010.....	19
Tabela 3 – Tipos de corrosão.....	37
Tabela 4 – Classificação dos valores obtidos com a aplicação do IL.....	39
Tabela 5 – Classificação dos valores obtidos com a aplicação do RSI.....	39
Tabela 6 – Dependência de constante de ionização da água (K_w) com a temperatura	41
Tabela 7 - Escala americana de grau de dureza da água	47
Tabela 8 – Resultados médios obtidos para o município 1	62
Tabela 9 – Resultados médios obtidos para o município 2	63
Tabela 10 – Resultados médios obtidos para o município 3	64
Tabela 11–Valores dos índices de estabilidade e das amostras do município 1	65
Tabela 12 – Valores dos índices de estabilidade e das amostras do município 2	65
Tabela 13 – Valores dos índices de estabilidade e das amostras do município 3	65

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 A química da água	16
3.2 Demanda de recursos hídricos	17
3.3. Abastecimento de água	18
3.4 Estrutura de abastecimento de água	20
3.4.1. Manancial	21
3.4.2 Captação	22
3.4.3 Estações elevatórias	23
3.4.4 Adutoras	25
3.4.5 Estações de Tratamento de Água (ETA)	25
3.4.5.1 Coagulação	27
3.4.5.2 Floculação	27
3.4.5.3 Decantação	28
3.4.5.4 Filtração	28
3.4.5.5 Desinfecção	29
3.4.5.6 Fluoretação	29
3.4.6 Reservatórios	30
3.4.7 Rede de distribuição	31
3.5 Principais materiais utilizados em tubulações	32
3.6 Efeito da corrosão em tubulações.	34
3.7 Índices de Estabilidade de água	37
3.7.1 Índice de Langelier	38
3.7.2 Índice de Ryznar.	39
3.8 Potencial de Hidrogênio (pH)	40
3.9 Condutividade Elétrica	42
3.10 Alcalinidade	43
3.10.1 Origem da Alcalinidade nos Corpos Hídricos Naturais	44
3.10.1.1 Formação da Alcalinidade de Bicarbonato	44

3.10.1.2 Reações do Dióxido de Carbono com o Calcário e a Dolomita.....	45
3.10.1.3 Alcalinidade de Carbonato	45
3.10.1.4 Alcalinidade de Hidróxido.....	45
3.11 Dureza Total.....	46
3.12 Sólidos Totais Dissolvidos (STD).....	47
3.13 Cloreto (Cl⁻)	47
3.14 Ferro total.....	48
4 METODOLOGIA	49
4.1. Coletas das amostras.....	49
4.2 Realização das análises físico-químicas.....	50
4.2.1. Determinação do pH: (4500 H⁺ B – APHA, 2012)	50
4.2.2 Condutividade.....	51
4.2.2.1 Método.....	51
4.2.2.2 Procedimento	51
4.2.4 Determinação de Cloreto (Cl⁻).....	52
4.2.4.1 Método.....	52
4.2.4.2 Procedimento	53
4.2.4 Determinação da Dureza de Cálcio (Ca²⁺)	53
4.2.4.1 Método.....	53
4.2.4.2 Procedimento	53
4.2.5 Dureza Total	55
4.2.5.1 Método.....	55
4.2.5.2 Procedimento	56
4.2.6 Determinação de Alcalinidade Total.....	57
4.2.6.1 Método.....	57
4.2.6.2 Procedimento	58
4.2.7 Determinação de Ferro	59
4.2.7.1 Método.....	59
4.2.7.2 Procedimento	60
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
5.1 Resultados Experimentais.....	62
5.2 Índices de Estabilidade.....	64
5.3 Estudo estatístico dos resultados.....	65
6 CONCLUSÃO	67

REFERÊNCIAS.....	68
-------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para a sobrevivência do ser humano. Apesar de que seja considerada um bem renovável, é restrita e está sujeita a diferentes formas de extinção. Além do mais, esse recurso fundamental é utilizado para o crescimento de múltiplas atividades antrópicas, como abastecimento para o exercício da agricultura, para os bens de consumo, produção de energia e lazer.

As tubulações de abastecimento são constituídas principalmente de ferro fundido e aço o que leva a sofrerem corrosão na superfície causados pelo contato com água. A corrosão consiste na deterioração em determinadas regiões dos materiais pela ação química ou eletroquímica do meio, podendo estar ou não associado a esforços mecânicos. Os problemas decorrentes da corrosividade da água podem ser de natureza sanitária, coloração da água e/ econômica.

Situações corretas de abastecimento resultam em melhorias das condições de vida e em benefícios como controle e prevenção de doenças, conforto, bem-estar, aumento da expectativa de vida e da produtividade econômica (RAZOLLINI; GÜNTHER, 2008). No entanto, falhas que muitas vezes assolam os sistemas de abastecimento e provocam a perda e qualidade da água são causados principalmente pela corrosão nas tubulações metálicas das estações de tratamento de águas (ETAs) e redes de distribuição.

Diante disso, as instalações de sistemas de abastecimento de água (SAA) para a população permitem, de forma acessível e regular, água potável de qualidade respeitando mananciais utilizados. O SAA pode ser compreendido como um conjunto de equipamentos e ações voltadas para o suprimento de água potável às comunidades para fins de consumo doméstico, industrial e público. Esses sistemas de abastecimento são compostos, de forma convencional, pelas unidades de captação, estação de tratamento, estação elevatória, adução, reservatórios e rede de distribuição.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo realizar a avaliação quantitativa das águas no processo de corrosão em tubulações de ETAs e de redes de distribuição de três municípios do estado do Ceará, através dos parâmetros físico-químicos da água e por meio dos Índice de Langelier e o Índice de Estabilidade de Ryznar.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estudar a avaliação da tendência corrosiva das águas oriundas das tubulações de estações de tratamento de água (ETAs) e de redes de distribuição de três municípios do estado do Ceará através de parâmetros físico-químicos e índices de estabilidade da água.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar análises físico-químicas em amostras de águas coletadas em ETAs e rede de distribuição;
- b) Comparar os resultados obtidos com a legislação vigente a Portaria de Consolidação nº 05 de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde;
- c) Calcular os índices de estabilidade de Saturação Langelier e o índice de Estabilidade Ryznar para investigar a ocorrência de corrosão em tubulações e correlacionar com os parâmetros físico-químicos.

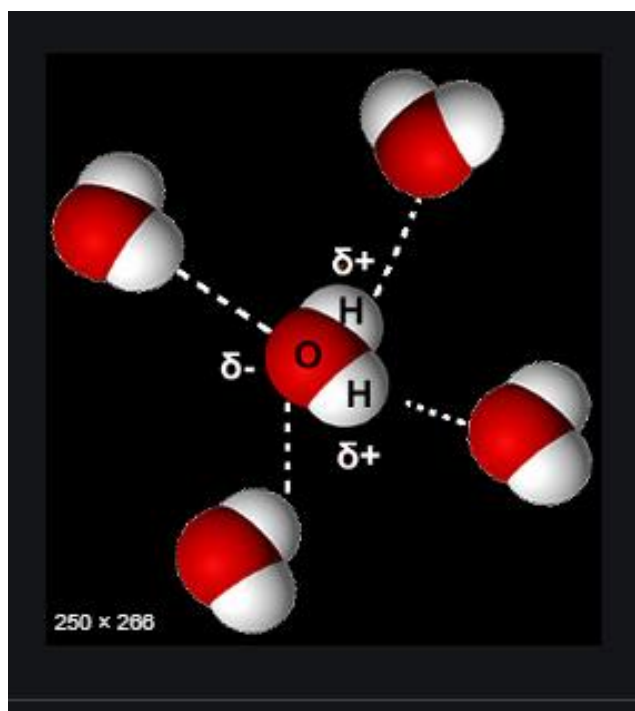
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A química da água

A água estende-se em torno de 75% da superfície da Terra e é o constituinte inorgânico mais abundante na matéria viva compreendendo aproximadamente dois terços do corpo humano e atingindo até 98% para certos animais aquáticos, legumes, frutas e verduras. Constitui-se também como solvente universal da maioria das substâncias (LIBÂNIO, 2010). A água possui uma estrutura molecular considerada simples. Formada por um átomo de oxigênio e dois átomos de hidrogênio, onde cada átomo de hidrogênio liga-se ao átomo de oxigênio, compartilhando com ele um par de elétrons (BECKER, 2017).

A água tem a capacidade de formar uma interação intermolecular, denominada de ligação de hidrogênio. A ligação de hidrogênio, pode ser observada na figura 1, caracteriza-se pela interação eletrostática entre um átomo de hidrogênio e um átomo eletronegativo (F, N ou O), no caso da molécula de água, interação entre hidrogênio e oxigênio. A interação é considerada forte e concede grande estabilidade à água.

Figura 1 – Ponte de Hidrogênio



Fonte: <https://www.manualdaquimica.com/> Acesso em 08 de outubro de 2019

A molécula de água possui uma geometria angular, por conta da repulsão

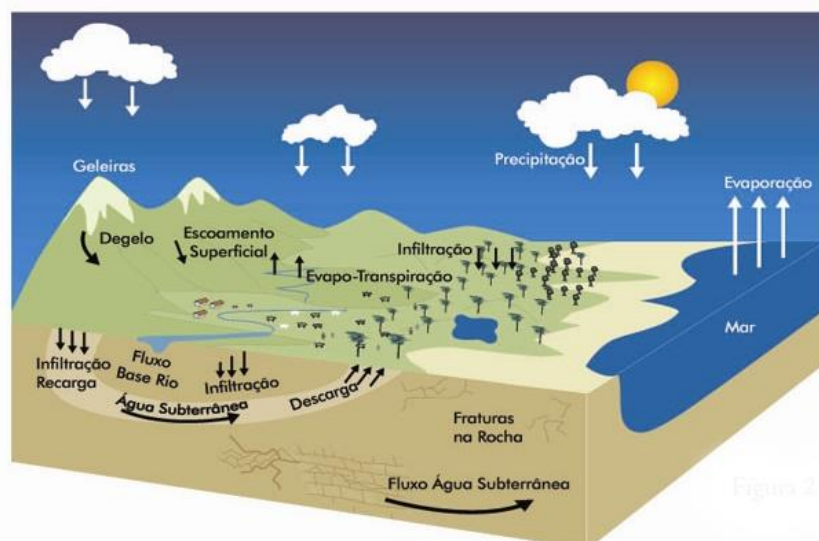
eletrostática entre os pares de elétrons não-ligantes do átomo de oxigênio e os elétrons ligantes das ligações entre oxigênio e hidrogênio. Considerando os pares de elétrons não-ligantes, admite-se a geometria da molécula da água como tetraédrica (BECKER, 2017).

3.2 Demanda de recursos hídricos

Os recursos hídricos é um bem natural, renovável e o mais importante na vida da humanidade. Nesta perspectiva, as diversas formas distribuição da água no planeta vem mudando ao longo do tempo, principalmente devido a forma como o ambiente vem sendo transformado (HELLER e PÁDUA, 2016). A disponibilidade da água ainda é uma questão recorrente mundialmente. Enquanto algumas populações vivem com abundância de água existem outras vivendo em países que sofrem cronicamente de escassez de água, que chegava a 8% (500 milhões) na virada do século, deverá subir para 45% (quatro bilhões) em 2050 (AUGUSTO, *et al.*, 2012).

A água existente no mundo está em constante movimento, a quantidade presente é praticamente invariável há muito tempo. Devido ao ciclo hidrológico, o volume permanece constante. Conforme a figura 2, o ciclo hidrológico funciona da seguinte maneira: a água que está no estado líquido é encontrada nos lagos, rios e oceanos. Devido o calor do sol, a água evapora. O vapor formado sobe para a atmosfera dando origem às nuvens. Em seguida, a água, que estava em forma de vapor, precipita-se na Terra em forma de chuva, neve ou orvalho. Nesse processo, a água se recicla, sustentando a vida no Planeta (RIBERIO; ROLIM, 2017).

Figura 2 – Ciclo hidrológico da água.



Fonte: <https://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico.html>. Acesso 07 de agosto de 2019

Segundo Von Sperling (2005), o total de água presente na Terra, 97,5% é salgada. Dos 2,5 % de água doce existente a distribuição se dá como demonstrado na tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Distribuição de água doce no mundo

Distribuição de água doce (%)	
68,9	Calotas polares
29,9	Água subterrânea
0,9	Outros reservatórios (atmosfera, pântano etc.)
0,3	Rios e lagos

Fonte: Casarin e Santos, (2018, p. 11)

A água doce dos rios que usamos corresponde uma parcela muito pequena do total. Além do mais, a água doce do planeta tem uma distribuição desigual nos continentes. Sendo a Ásia o continente com a maior parcela dos recursos hídricos em torno de 31,6 % de água doce. Enquanto continentes como: América do Norte, Sul, África, Europa, Oceania e Antártida possui em torno de 18,0; 23,1; 7,0; 5,3; 5,0 % da demanda dos recursos de água doce, respectivamente. Somente no Brasil dispõe de 12 % da água doce do mundo (CASARIN; SANTOS, 2018).

3.3. Abastecimento de água

A água é considerada um recurso natural limitado e fadado de valor socioeconômico. A criação de sistemas que possam distribuí-las de forma adequada e com qualidade é de extrema importância para a população (BRASIL, 2010). A quantidade de água para o desenvolvimento humano vem crescendo com o passar do tempo no Brasil, tanto no uso para produção de produtos como no abastecimento para consumo propriamente dito (LEONETI *et al.*, 2011).

O sistema de abastecimento de água consiste na captação da água da natureza, no tratamento adequado ao uso para garantia da sua qualidade, adução da água, elevatória quando preciso e o seu fornecimento em quantidade adequada às necessidades da população. Um projeto de abastecimento de água é composto por um conjunto de instalações nas quais devem ser previstas os aspectos condicionantes para a implantação do sistema como as instalações já existentes, o dimensionamento antecipado incluindo as alternativas que melhor se adaptam a realidade do local, bem como diferenciação dos parâmetros que mostraram a execução do projeto (TSUTIYA, 2008).

A carência de instalações suficientes de abastecimento de água para as populações constitui uma das maiores dívidas sociais ainda persistentes no mundo (HELLER; PÁDUA, 2016). Em 2015, 844 milhões de pessoas ainda não dispunham nem mesmo de um serviço básico de água (BRASIL, 2017). No Brasil, foi sancionado a Lei do Saneamento Básico, Lei 11.445 em 2007, que garante para a sociedade um serviço de qualidade de abastecimento de água e esgotamento sanitário. O último estudo realizado pelo censo demográfico do IBGE de 2010 revelou a seguinte situação da cobertura de água no país conforme a tabela 2.

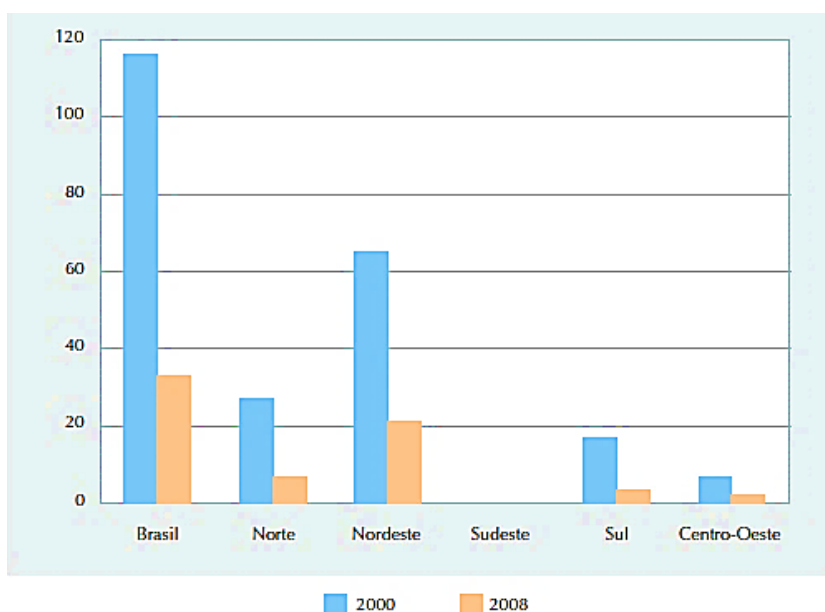
Tabela 2 - Cobertura por abastecimento de água no Brasil – ano 2010

Forma de abastecimento	População (moradores em domicílios permanentes)		
	Total	Urbana	Rural
Rede geral	154.643.817 (81,48%)	146.434.372 (77,16%)	8.209.445 (4,33%)
Poço ou nascente (na propriedades)	19.975.769 (10,53%)	9.369.045 (4,94%)	10.606.724(5,59%)
Outra	1.550.483(0,82%)	1.010.702(0,53%)	539.781(0,28%)

Fonte: Censo demográfico (IBGE, 2010)

Observa-se que o país ainda mostra um total de 35 milhões de pessoas sem acesso ao abastecimento de água fornecida por rede coletiva. Em comparação com ano de 2000, observa-se no gráfico 1 o aumento do acesso a cobertura de água tratada no âmbito nacional.

Gráfico 1 – Total de municípios sem rede geral de abastecimento de água.



Fonte: Censo demográfico (IBGE, 2010)

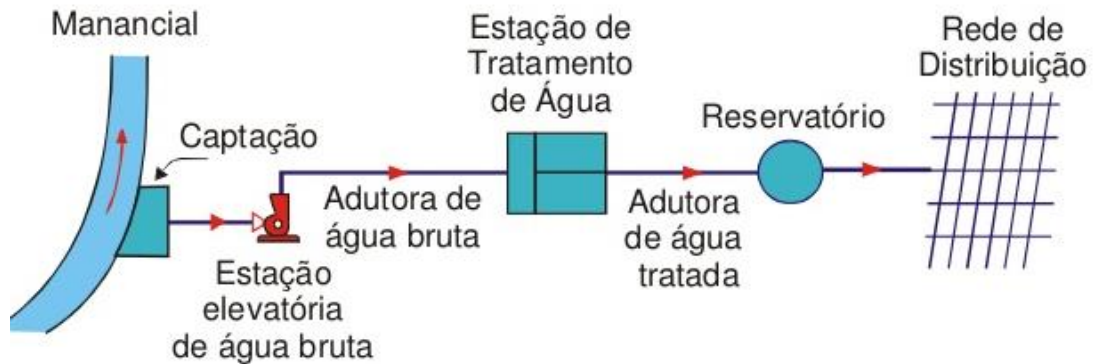
Apesar de um aumento significativo do abastecimento de água, a situação ainda é preocupante no país. Segundo dados mais recentes do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em algumas regiões do país, como a Norte, a situação é ainda mais grave: 57,49 % da população é atendida por abastecimento de água e sofre perda de 55,14% de água potável.

3.4 Estrutura de abastecimento de água

Segundo a Portaria de Consolidação nº 05, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde, o sistema de abastecimento de água para consumo humano é um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinados à produção e à distribuição canalizada de água potável para populações, sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão.

A concepção dos sistemas de abastecimento de água é variável, em função do porte da cidade, topografia e sua posição em relação aos mananciais. Em tese, os sistemas convencionais de abastecimento de água são constituídos da seguinte forma: o manancial, captação, adução, estação elevatória, estação de tratamento de água (ETA), reservatório rede de distribuição e reservatório de jusante de acordo com a figura 3, (TSUTIYA, 2008).

Figura 3 – Componentes de abastecimento de água



Fonte: <https://pt.slideshare.net/mackenzista2/aula-captao-adutorasrev>. Acesso 22 de outubro de 2019.

3.4.1. Manancial

Mananciais são todas as fontes de água superficiais e subterrâneas que podem ser usadas para o abastecimento de água para consumo humano. Isso inclui, por exemplo, rios, lagos, represas e lençóis freáticos, da mesma maneira as cisternas do semiárido, que acumulam, durante o período de chuva, água boa para beber e cozinhar.

Na captação de água de um manancial devem ser observados aspectos relacionados à quantidade de água, à facilidade de adução e à proteção do manancial. Normalmente, quanto maior a vazão do manancial, tanto maior é sua bacia hidrográfica e, neste caso mais difícil será garantir a proteção da respectiva bacia hidrográfica e, decorrente, a qualidade da água a ser captada (BRASIL, 2014).

Na figura 4, pode-se observar um exemplo de manancial para abastecimento de água no estado do Ceará.

Figura 4 – Manancial para captação de água do estado do Ceará – açude Castanhão



Fonte: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/acude-castanhao>. acesso em 7 de agosto de 2019

3.4.2 Captação

Constitui-se pela estrutura responsável pela extração de água do manancial, a fim de torná-la disponível para seu transporte para locais de utilização. Pode ser de muitas formas diferentes, em função do tipo de manancial (HELLER; PÁDUA, 2016). É necessário um conjunto de obras para retirar a água do local. Para captação de água em mananciais de superfície, as obras são nas proporções de acordo com o porte do mesmo, levando em conta a topografia e geologia do local qualidade e variação do nível da água (GIROL, 2008).

A captação de água de superfície pode ser de cinco tipos principais: Captação direta ou a fio de água; Captação com barragem de regularização de nível de água; Captação com reservatório de regularização de vazão destinado prioritariamente para o abastecimento público de água; Captação em reservatórios ou lagos de usos múltiplos; Captações não convencionais (SILVA, 2016). Na figura 5 pode-se observar um exemplo de captação de água.

Figura 5 – Captação em poço profundo.



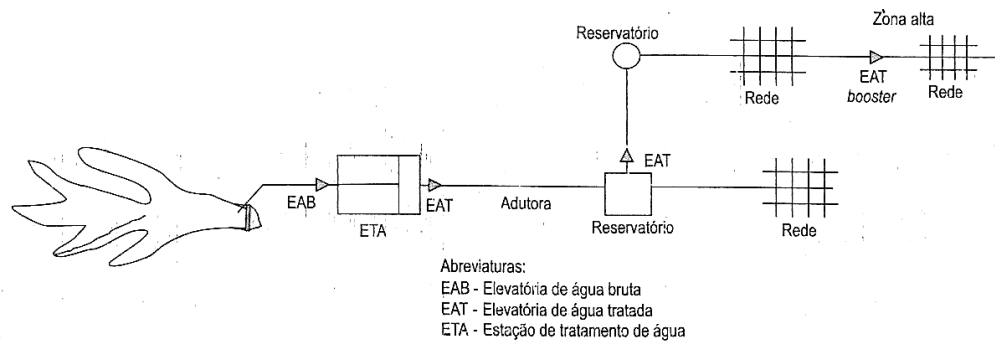
Fonte: <https://www.tratamentodeagua.com.br/pocos-abastecimento-agua-ms/acesso> em 10 de agosto de 2019.

3.4.3 Estações elevatórias

Define-se como conjunto de obras e equipamentos que são atribuídos para recalcar a água para unidade seguinte (TSUTIYA, 2008). Tornam-se essenciais na captação, adução, tratamento e rede de distribuição de água, para conduzir o líquido a cotas mais elevadas, ou para aumentar a capacidade de adução do sistema. Quando destinadas a transportar água não tratadas, denominam-se elevatórias de água bruta. Quando não, são denominadas de elevatórias de água tratada e geralmente são postos após as estações de tratamento de água para o bombeamento do líquido até os reservatórios (HELLER; PÁDUA, 2016).

Também é comum a estação elevatória, tipo *booster*, que se destina a aumentar a pressão e/ou a vazão em adutoras ou rede de distribuição de água (TSUTIYA, 2008). Na figura 6 mostra um esquema básico de sistema de cobertura de água e algumas adições possíveis de elevatórias para demonstrar a reiteração com que essas unidades podem advir (HELLER; PÁDUA, 2016).

Figura 6 – Posicionamento de elevatórias em um sistema de abastecimento de água.



Fonte: Fonte: Heller e Padua, (2016, p. 482)

Sua instalação deve ser estudada com cautela, pois ela influencia diretamente no valor de manutenção do sistema, devido um aumento no custo de energia elétrica. Se houver bombeamento no sistema, os gastos podem representar uma boa parte dentro de uma companhia de saneamento (GIROL, 2008). Na figura 7, observa-se um exemplo de Estação elevatória das margens do rio Tibiri localizado em São Luís.

Figura 7 – Estação elevatória de água bruta



Fonte: Silva, (2016, p. 20)

3.4.4 Adutoras

As adutoras são tubulações ou canais, encarregados do transporte de água entre a captação e a ETA; captação e o reservatório de distribuição; captação e a rede de distribuição; ETA e o reservatório de distribuição; ETA e a rede de distribuição (BRASIL, 2014). Quando as adutoras são derivadas de outras, sem distribuição de água para os consumidores, são chamados de subadutoras.

São classificadas como adutora por gravidade, por recalque, de água bruta e, por fim, água tratada. A primeira constitui o mais seguro e, além disso, a mais econômica de se transportar água. O segundo, as adutoras estão ligados a elevatórias. O terceiro, tubulações que antecedem a estação de tratamento de água e o quarto, são tubulações após receber o tratamento pela estação (HELLER; PÁDUA, 2016).

3.4.5 Estações de Tratamento de Água (ETA)

Nos sistemas de abastecimento de água tem como propósito de viabilizar água potável aos usuários, de forma contínua e em quantidade e pressão adequadas (VON SPERLING, 2005). As ETAs tem como propósito de exercer o tratamento da água bruta antes de sua distribuição, para que a água não ofereça riscos a saúde da população. Apesar de que seja comum se afirmar que do ponto de vista técnico é possível potabilizar qualquer tipo de água, os riscos sanitários e os custos envolvidos no tratamento de águas contaminadas podem ser muito elevados, exigindo o emprego de técnicas cada vez mais aprimoradas, motivo pelo qual deve-se priorizar ações de proteção dos mananciais (SILVA, 2016). A figura 8 ilustra a ETA do Gavião localizada no estado do Ceará.

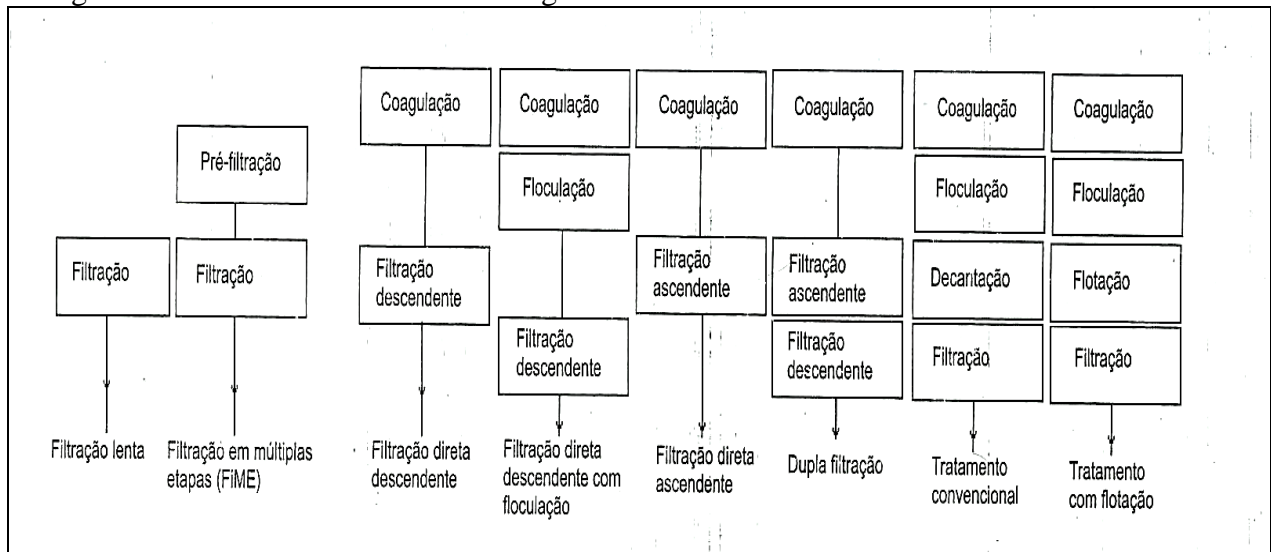
Figura 8 – Estação de tratamento de água do Estado do Ceará



Fonte: [hwww.ceara.gov.br/](http://www.ceara.gov.br/) acesso em 8 de agosto de 2019

Segundo Richter (2009), uma água potável é referente à escolha dos procedimentos de tratamento que devem ser executados com o propósito de eliminar ou diminuir determinados componentes presentes na água bruta, uma vez que, deve-se observar a origem da água bruta bem como qualidade da água tratada. Atualmente no Brasil encontram-se três padrões de estações de tratamento de água mais aplicadas sendo elas: estações de tratamento convencional, estações de filtração direta estações de flotação de ar dissolvido. Na figura 9, observa-se os tipos de técnicas de tratamento de água.

Figura 9 – Técnicas de tratamento de água



Fonte: Heller e Padua, (2016, p. 562).

Para estações de tratamento convencional os processos mais reconhecidos podem ser classificados como:

3.4.5.1 Coagulação

Segundo Richter (2009), a coagulação é o procedimento que compreende na adição de produtos químicos na água com o intuito de minimizar as forças que tendem deixar as partículas sólidas suspensas separadas. Dessa maneira, a coagulação é caracterizada pela modificação física e química das partículas presentes na água, alterando assim a cor e a turbidez e reproduzindo partículas que possam ser separadas pelo processo de sedimentação.

Os coagulantes frequentemente utilizados nas ETA são, por exemplo, o sulfato de alumínio, o cloreto férrico e o sulfato ferroso, dentre outros. Este processo precisa ser feito de maneira adequada, pois caso contrário reflete no desempenho das unidades posteriores (VON SPERLING, 2005).

3.4.5.2 Flocculação

Segundo Heller e Pádua (2016), as reações químicas que se iniciam na unidade de mistura rápida possibilitam que as impurezas presentes na água possam se aglomerar, formando flocos na unidade de flocculação. Nesta unidade não ocorre remoção de impurezas; a finalidade é apenas acondicionar a água que será encaminhada aos decantadores ou aos filtros da ETA, aumentando o tamanho das partículas.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1992) define os floculadores como unidades para promover a agregação de partículas formadas na mistura rápida, sendo preconizado que os parâmetros de projeto e operação destas unidades devem ser determinados por meio de ensaios realizados com a água a ser tratada. Determina que nos floculadores hidráulicos devam admitir valores de período de detenção entre 20 a 30 minutos e os floculadores mecanizados devem assumir valores de 30 a 40 minutos.

3.4.5.3 Decantação

Conforme Heller e Pádua (2016), salientam que nas ETAs quando a água bruta apresenta alta concentração de partículas em suspensão ou de sólidos dissolvidos, é fundamental a construção de unidades que removam partes destas impurezas, antes de encaminhá-las aos filtros. A decantação é uma das técnicas mais antigas e básicas para clarificação da água e resulta da ação da força de gravidade sobre as impurezas, facilitando a sedimentação delas no fundo da unidade e resultando na clarificação do sobrenadante.

De acordo com as normas da ABNT (1992), o dimensionamento das unidades de decantação é baseado na Taxa de Aplicação Superficial (TAS) que é definida como a taxa obtida pela divisão da vazão passante pela área de decantação e é relativo à velocidade de sedimentação. Os decantadores são unidades que ocupam grandes espaços físicos nas ETAs, variando de 50 a 70% da área total da ETA.

Conforme Azevedo Netto *et al* (1998), os decantadores podem ser discernidos da seguinte maneira: em decantadores de fluxo horizontal, nos quais a movimentação da água ocorre de lado para o outro abrangendo toda extensão da unidade; os decantadores de fluxo vertical são aqueles em que a água decantada exerce um escoamento ascendente para a saída e por fim decantadores tubulares ou de alta taxa, são aqueles onde os módulos tubulares são posicionados de maneira inclinada.

3.4.5.4 Filtração

A filtração é designada ao procedimento de desagregação entre a parte líquida e sólida das águas objetivando a retirada de dejetos por um meio poroso (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991). A PRC nº 05/17, do Ministério da Saúde, enfatiza que quaisquer águas procedentes de corpos hídricos superficiais deverão passar pelo processo de filtração.

Os filtros podem ser classificados como filtros lentos ou filtros rápidos, estando o

último presente no sistema convencional de tratamento. Os filtros rápidos são compostos por: i) canal de alimentação da água aos filtros; ii) calhas de distribuição da água decantada; iii) meio filtrante; iv) camada suporte; v) sistema de drenagem; e vi) calhas de coleta da água de lavagem. Muitas vezes, as calhas de 12 distribuições da água decantada e as calhas de coleta da água de lavagem são as mesmas (BERNARDO; PAZ, 2010).

3.4.5.5 Desinfecção

A desinfecção é um processo que representa uma etapa fundamental do tratamento, pois se configura como a última barreira para os microrganismos. A desinfecção pode ser feita por agentes físicos ou por agentes químicos. A eficiência de desinfecção depende: i) das características da água; ii) do microrganismo a ser inativado, já que cada grupo de microrganismo possui uma resistência à desinfecção; e iii) das características do desinfetante, tal como o potencial de oxidação.

Dentre os diversos compostos disponíveis para a desinfecção, os compostos de cloro são os mais amplamente utilizados, devido ao seu baixo custo e, principalmente, a possibilidade de conferir à água uma concentração residual para que a água seja distribuída por toda rede com segurança (LIBÂNIO, 2010).

A desinfecção não acaba com todas as formas de vida, o que é executado é a eliminação dos organismos patogênicos. A destruição inteira das formas vivas é denominada de esterilização. Os agentes químicos mais utilizados na desinfecção, em geral, tem-se os oxidantes cloro, bromo, iodo, ozônio, permanganato de potássio e peróxido de hidrogênio e os íons metálicos, prata e cobre, enquanto os reagentes físicos destacam-se o calor e a radiação ultravioleta (HELLER; PÁDUA, 2016).

3.4.5.6 Fluoretação

A fluoretação é a fase após à desinfecção e representa a penúltima etapa do tratamento de água. Para as águas que não possuem concentração de fluoreto (F^-) dentro do estabelecido pela PRC nº 05/17 MS, recomenda-se a adição de compostos de flúor, de maneira a prevenir a cárie dentária. De acordo com Libânio (2010), qualquer composto passível de se dissociar e liberar o íon fluoreto na água pode ser utilizado no processo de fluoretação, desde que o composto tenha uma solubilidade e grau de pureza adequados e que o cátion liberado junto com o ânion não confira à água toxicidade ou outra característica. Os

principais compostos utilizados para a fluoretação são: i) fluossilicato de sódio; ii) fluoreto de sódio; e iii) ácido fluossilícico.

3.4.6 Reservatórios

Os reservatórios têm como finalidade realizar a compensação entre as vazões de produção, oriundas da captação-adução-tratamento, e as vazões de consumo variáveis ao longo das horas do dia e ao longo dos dias do ano (HELLER; PÁDUA, 2016).

Os reservatórios são posicionados de modo a abastecer durante as horas de maior consumo e tendo também a função de contribuir para a diminuição dos custos com a rede de distribuição. São eles que permitem a continuidade do abastecimento quando é necessária a interrupção do abastecimento para manutenção em unidades como captação, adução e estações de tratamento de água. E também podem ser dimensionados para permitir o combate a incêndios, em situações especiais, em locais onde o patrimônio e segurança da população estejam ameaçados (BARROS, 1995).

Os reservatórios possuem as seguintes finalidades (TSUTIYA, 2008, apud GIROL, 2008):

- Regularização da vazão: acumulam água durante as horas em que a demanda de água é inferior a média e fornecem vazões complementares quando a demanda for superior à média;
- Segurança: São importantes em situações onde, por exemplo, uma adutora é rompida sendo necessária a interrupção da captação ou estação de tratamento;
- Reserva de água para incêndio: Podem disponibilizar vazões extras para o combate a possíveis incêndios;
- Regularização das pressões: O reservatório pode ser alocado em determinados pontos do sistema para reduzir a pressão na rede. São os chamados reservatório de quebra de pressão.

Entretanto, a utilização de reservatórios de distribuição (figura 10) apresenta alguns inconvenientes (TSUTYA 2008, *apud* GIROL, 2008):

1. Custo elevado de implantação;
2. Localização: para atender as variações de pressão da rede, o reservatório deve ser localizado, em cota adequada;

3. Impacto ambiental: dependendo da localização poderá ocorrer impacto ambiental com a implantação de reservatório elevado, apoiado e semienterrado.

Figura 10 – Reservatório elevado



Fonte: O autor.

3.4.7 Rede de distribuição

Rede de distribuição é a seção do sistema de abastecimento de água constituída por tubulações e órgão acessórios em logradouros públicos, e que tem como propósito de propiciar, em sistema contínuo, água potável em quantidade, qualidade e pressão adequadas a vários consumidores localizados em uma cidade, vila ou outro tipo de aglomeração. A designação *rede de distribuição* provém de forma como as tubulações são instaladas, formando rede de condutos relacionados entre si e viabilizar várias fontes para a distribuição de água potável as cidades (HELLER; PÁDUA, 2016).

As redes de distribuição são constituídas por dois tipos de canalizações (TSUTYIA, 2008):

- Principal: São as canalizações de maior diâmetro que tem a finalidade de levar água as canalizações secundárias. Estas canalizações também são conhecidas como canalização mestra ou conduto tronco.

- Secundária: São as canalizações de menor diâmetro e tem a finalidade de abastecer os pontos de consumo no sistema de distribuição.

Com característica do tipo de traçado destes condutos, classifica-os como

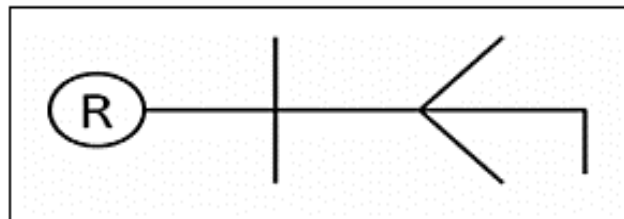
((HELLER; PÁDUA, 2016):

Rede ramificada: Esta configuração é característica de áreas que possuem um desenvolvimento linear em que as ruas não conectam entre si devido a problemas na topografia local ou de traçados urbanos (figura 11). Estas redes podem ter traçados do tipo “espinha de peixe” ou “em grelha”.

Rede malhada: Esta configuração de rede é típica de áreas com ruas formando malhas viárias (figura 12). As tubulações principais formam blocos ou anéis permitindo o abastecimento do sistema por mais de um caminho, favorecendo a manutenção na rede com o mínimo possível de interrupção no abastecimento de água.

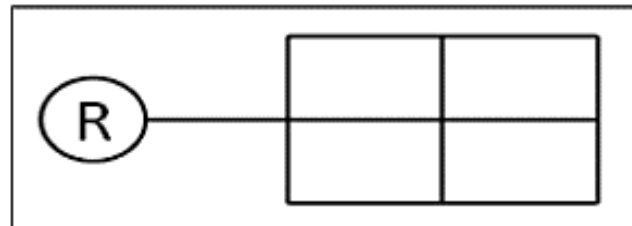
Rede mista: é a do que a combinação da rede ramificada com a rede malhada (figura 13).

Figura 11 – Exemplo de rede ramificada



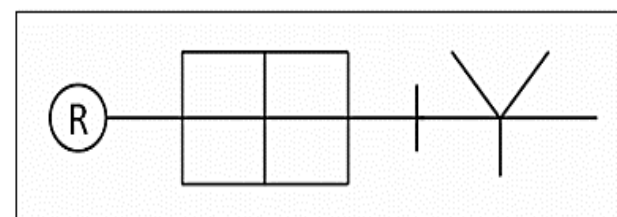
Fonte Modificada de Gomes (2004, p. 18)

Figura 12 – Exemplo de rede malhada



Fonte Modificada de Gomes (2004, p. 18)

Figura 13 – Exemplo de rede mista



Fonte Modificada de Gomes (2004, p. 18)

3.5 Principais materiais utilizados em tubulações

As tubulações de sistemas de abastecimento de água podem ser divididas em

metálicos e não metálicos. As adutoras por gravidade, emprega-se comumente tubos de ferro fundido, de aço, de policloreto de vinila (PVC), de polipropileno ou de polietileno. As adutoras de recalque, tem sido usados tubos de ferro fundido dúctil ou aço, devido uma maior resistência as variações de pressão interna (HELLER; PÁDUA, 2016).

Os tubos de aço são utilizados nas adutoras sob pressão, onde os gastos de introdução e aquisição se transformam concorrente com os do ferro fundido dúctil. Evidenciam-se pela boa soldabilidade, o que concede estanqueidade ao sistema, pela facilidade do assentamento, e pela resistência ao impacto. Além disso, necessitam dimensionamento cuidadoso em relação a espessura da parede, além de cuidados especiais contra processos de corrosão interna e externa (TELLES, 2001).

Os tubos de ferro fundido cinzento foram muito utilizados no passado e existem ainda hoje, várias tubulações remanescentes em operação. Contudo, estes tubos não são fabricados, devido as vantagens apresentadas pelos tubos de ferro fundido dúctil, especialmente em relação a resistência a tração e a impactos. Os tubos de ferro fundido dúctil destacam-se por apresentarem robustez as condições de assentamento, além de vida útil e prolongada (TELLES, 2001).

Segundo Heller e Pádua (2016) os tubos de PVC exibem certas limitações quanto a tenacidade as pressões internas e aos diâmetros comerciais disponíveis. Entretanto, dispõem uma alta resistência química, baixo custo de aquisição e instalação e elevadas resistência a processos corrosivos.

De acordo com Telles (2001) os tubos de polietileno e polipropileno tem uma grande importância devido a sua soldabilidade, leveza e uma grande resistência química. Os tubos de RPVC e PRFV são mais resistentes as pressões internas e possuem elevadas resistência química (TELLES, 2001).

Os tubos de concreto armado são usados para adutoras de grande diâmetro, como em galerias de águas pluviais com escoamento livre ou sob baixa a moderada pressão. Não é indicado para a aplicação desses tubos em adutoras com escoamento sob elevada pressão.

O cimento-amianto, atualmente, não se usa por causa de possíveis problemas sanitários decorrente das fibras utilizadas na produção na tubulação (HELLER; PÁDUA, 2016).

3.6 Efeito da corrosão em tubulações.

A corrosão, comumente associada a ferrugem, é definida como processos de deterioração de um material, normalmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente relacionado ou não a processos mecânicos (GENTIL, 2011). A corrosão pode ser verificada em vários ambientes como portões, grades, janelas e até nas armaduras de um concreto (MAINIER *et al.*, 2002). Sendo a corrosão, em geral, um processo espontâneo, está constantemente transformando os materiais metálicos de modo que a durabilidade e desempenho deixem de satisfazer os fins que são destinados (FRAUCHES-SANTOS, 2014).

Distingue-se os processos corrosivos em três grupos, podendo ser: corrosão química, corrosão galvânica e eletrolítica.

A corrosão química é um sistema onde o meio, no qual o material está inserido, reage na superfície de contato entre eles. A corrosão então se revela praticamente em toda a área lateral do material atingindo da mesma forma toda a superfície exposta à ação agressiva do ambiente. Podemos citar como um ataque, o ferro (Fe) reagindo com o gás oxigênio (O_2), caracterizando uma oxidação seca, o que geralmente se constitui de uma camada apassivadora que bloqueia que o oxigênio entre e a corrosão continue, como exposto na figura 14 (TAJCHMAN, 1985).

Figura 14 – Corrosão química em uma tubulação



Fonte: Silva, (2017, p. 16).

Segundo Gentil (2011), a corrosão galvânica pode ocorrer sempre que houver heterogeneidade o sistema material metálico-meio corrosivo, devido a diferença de potencial resultante proporciona a formação de áreas anódicas e catódicas.

As reações que se instala na corrosão galvânica no ferro são basicamente as seguintes, conforme PIERRE (1999).

Na região anódica temos (equação 1):

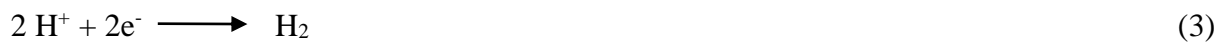


Na região catódica temos:

a) Na presença de O_2 (equação 2):



b) Na ausência de O_2 (equação 3):



A reação ocorre rapidamente em meio ácido, e lentamente em meio alcalino. Formando-se assim o hidróxido ferroso ($2\text{Fe}(\text{OH})_2$) conforme a reação abaixo que é um composto solúvel de cor branca, apresentando-se esverdeado na presença de oxigênio e apresenta em solução um pH de 9,5 (equação 4):



Sendo que o hidróxido ferroso na presença de oxigênio dissolvido, pode se transformar em hidróxido férrico, como expresso pela reação abaixo (equação 5):



A corrosão eletrolítica pode-se defini-la como a deterioração da superfície de um metal forçada a funcionar como anodo ativo de uma cuba ou pilha eletrolítica, ou seja,

enquanto outros casos de corrosão envolve um processo espontâneo esse é um processo não espontâneo devido a aplicação de uma corrente elétrica externa gerando casos sérios de corrosão. Essas correntes são chamadas de correntes de fuga, estranhas, vagabundas ou espúrias (GENTIL, 2011).

Figura 15 – Pilha galvânica uma tubulação de aço, na vertical, e uma tubulação de cobre, na horizontal.



Fonte: Silva, (2017, p. 17).

A corrosão de tubos de ferro concentraram-se em diferentes aspectos da corrosão do ferro: degradação dos tubos (medida por perda de peso, consumo de oxigênio ou corrente de corrosão), formação de incrustações (medidas por perda de carga ou deposição de incrustações) e liberação de subprodutos como, alta concentração de ferro, cor, mancha ou turbidez (MCNEILL; EDWARDS, 2001). As características físico-químicas das escalas de corrosão atuam consideravelmente na variação da qualidade da água durante o seu processo de fornecimento. Os elementos ferro, oxigênio, cálcio, manganês e carbono são confirmados como elementos predominantes nesse processo de corrosão em tubulações (LI; LIU; CHEN, 2018).

Como já referido, a corrosão interna depende das características físico químicas da água como pH, alcalinidade, dureza etc. A corrosão externa depende do meio na qual a tubulação está introduzida GENTIL (2011) descreve 5 tipos de corrosão às tubulações, de acordo com a tabela 3.

Tabela 3 – Tipos de corrosão

Tipo	Localização	Descrição
Tuberculização	Interna	Caracteriza-se por formações esponjosas e duras que crescem como se fossem corais e que, uma vez que secas se “esfarelam” com relativa facilidade. Obs: É erroneamente designada por incrustação.
Corrosão por Crévice	Interna	Este tipo de corrosão ocorre devido à diferença do meio ocasionando o ataque eletroquímico do metal, isto refere-se à corrosão em frestas ou corrosão sob depósito, em áreas onde encontramos pequenos volume de água estagnada
Corrosão Induzida Por Microrganismos	Interna	Este tipo de corrosão ocorre com a participação de microrganismos que atuam no processo de forma ativa sem alterar a natureza eletroquímica do fenômeno. Durante o processo corrosivo.
Corrosão por pite	Interna/Externa	Este tipo de corrosão é caracterizado por pontos de ataques corrosivos na superfície metálica. É uma forma de corrosão localizada, onde o ataque por pite é, sem dúvida, uma das maneiras mais destruidoras de corrosão e se apresenta de forma puntiforme sobre a superfície metálica.
Grafitização	Interna/Externa	A retirada de ferro da estrutura metálica resulta numa redução efetiva da espessura da parede da tubulação visto que a grafite remanescente não garante a integridade estrutural.

Fonte: modificado Gentil, (2011).

3.7 Índices de Estabilidade de água

Algumas águas têm tendência de gerar incrustações ou causar corrosão em tubulações, desse modo, essas características podem ser avaliadas através de índices de estabilidade. Esses índices de estabilidade da água são largamente usados nos processos rotineiros industriais, principalmente os que envolvem água de caldeira e sistemas de

refrigeração, para determinar a tendência incrustante e corrosiva da água utilizada nos processos (DANTAS, 1988).

Quanto mais pura é a água, maior é a tendência solubilizante da mesma; por outro lado, quando a água apresenta concentrações elevadas de sais, maior é a tendência destes se precipitarem. Por outro lado, a solubilidade das substâncias normalmente presentes na água é também dependente da temperatura, do pH, das espécies químicas envolvidas, entre outros fatores. Os índices de estabilidade mais relevantes e aplicados no ramo de tratamento de águas industriais são: Índice de Langelier, índice de Ryznar (DANTAS, 1988).

3.7.1 Índice de Langelier

O índice de saturação de Langelier (IL) é um modelo do equilíbrio derivado de conceitos teóricos de saturação que indica o grau de saturação do carbonato de cálcio na água, representado pela diferença entre o pH medido na água e o pH de saturação da água contendo íons como Ca^{+2} , Mg^{+2} , HCO_3^- quando o sistema $\text{CO}_3^{-2} \times \text{CO}_2$ encontra-se em equilíbrio, conforme **equação 6**.

$$\text{IL} = \text{pH} - \text{pH}_s \quad (6)$$

Onde IL é o índice de Langelier (adimensional); pH é o potencial hidrogeniônico da amostra (adimensional), $\text{pH}_{\text{saturação}}$ é o pH no qual ocorre a saturação do CaCO_3 (adimensional). O $\text{pH}_{\text{saturação}}$ pode ser obtido por coeficientes que dependem da temperatura da amostra, da alcalinidade, da dureza e da concentração de sólidos dissolvidos (DE MESQUITA e KELLNER, 2015).

O pH de saturação (pH_s) é calculado a partir da temperatura (T em °C), do teor de sólidos totais dissolvidos (STD), da dureza de cálcio ($[\text{Ca}^{2+}]$ - em mg de CaCO_3/L) e da alcalinidade total (Alcalinidade. em mg de $\text{CaCO}_3\text{L}^{-1}$), através das seguintes expressões (CAVAZZANA, 2011).

$$\text{pH}_s = (9,3 + \text{A} + \text{B}) - (\text{C} + \text{D}) \quad (7)$$

Em que:

$$\text{A} = \frac{\log(\text{STD}) - 1}{10} \quad (8)$$

Onde:

$$B = - 13,12 \log (T + 273) + 34,55 ;$$

$$C = \log [Ca^{2+}] - 0,4;$$

$$D = \log [\text{Alcalinidade}].$$

Os resultados podem ser interpretados de acordo com a tabela 4 abaixo:

Tabela 4 – Classificação dos valores obtidos com a aplicação do IL

Valor de IL	Indicação
IL = 0	Balanceda
IL < 0	água com tendência corrosiva
IL > 0	água com tendência a formar incrustações

Fonte: Gentil (2011, p. 169)

3.7.2 Índice de Ryznar.

No propósito de se ampliar o uso do Índice de Saturação de Langelier, do mesmo modo obter um método quantitativo correto para medir a característica incrustante/corrosiva da água, J. W. Ryznar sugeriu a utilização do Índice de Estabilidade (equação 9).

$$RSI = 2 (pH_s) - pH \quad (9)$$

Onde pH_s é o pH teórico de saturação calculado pelo diagrama de Langelier e pH é o pH medido da água na temperatura considerada. A tabela abaixo é aplicada no estudo do índice de Ryznar quando a temperatura se encontra entre 0 e 60 °C, propondo as diferentes tendências de uma água, sempre com um valor positivo (DANTAS, 1988). Deve-se ressaltar que o Índice de Estabilidade, desenvolvido por Ryznar (tabela 5), permite uma melhor previsão da tendência incrustante ou corrosiva de uma água (GENTIL, 2011).

Tabela 5 – Classificação dos valores obtidos com a aplicação do RSI

Índice de Ryznar (RSI)	Tendência da água
≤ 6,0	Incrustação
>7,0	Não há deposição CaCO ₃

>7,5-8,0	Aumenta a probabilidade de corrosão
--------------------	-------------------------------------

Fonte: Gentil (2011, p. 169)

3.8 Potencial de Hidrogênio (pH)

A água passa por autoionização (equações 10 e 11) conhecida como autoprotólise, onde ela age tanto como um ácido, quanto uma base (HARRIS, 2016)



Kohlraush e Heidweiler (1894), após cuidadosas experiências, concluíram que, a mais pura das águas apresenta uma pequena, porém, bem definida condutância. Aplicando a essa dissociação a Lei da Ação das Massas, podemos expressar a constante de equilíbrio pela equação 12.

$$K = \frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]} \quad (12)$$

Dos resultados experimentais obtidos na determinação da condutância da água, foi possível estabelecer o valor de K, como sendo $1,82 \times 10^{-16}$ a 25°C . Este baixo valor indica que o grau de dissociação é insignificante; a água, portanto pode ser considerada praticamente como não dissociada. Assim, a concentração da água (massa molecular relativa 18) é constante e pode ser expressa como pela equação 13.

$$[\text{H}_2\text{O}] = 1000/18 = 55,6 \text{ mol/L} \quad (13)$$

Pode-se, portanto, reunir as constantes em um dos lados da equação e escrever a equação 14:

$$K_w = [\text{H}^+] \times [\text{OH}^-] = 1,82 \times 10^{-16} \times 55,6 = 1,01 \times 10^{-14} \quad (14)$$

A nova constante de autoprotólise da água K_w é denominada *constante de ionização da água*. Seu valor depende da temperatura (tabela 6). Para temperatura ambiente (25°C) o valor é $K_w = 1,01 \times 10^{-14}$, sendo geralmente aceito e usado (VOGEL, 2002).

Tabela 6 – Dependência de constante de ionização da água (K_w) com a temperatura

Temperatura (°C)	K_w
0	$1,14 \times 10^{-15}$
5	$1,85 \times 10^{-15}$
10	$2,92 \times 10^{-15}$
15	$,51 \times 10^{-15}$
20	$6,81 \times 10^{-15}$
24	$1,00 \times 10^{-14}$
25	$1,01 \times 10^{-14}$
30	$1,47 \times 10^{-14}$
35	$2,09 \times 10^{-14}$
40	$2,92 \times 10^{-14}$
45	$4,02 \times 10^{-14}$
50	$5,47 \times 10^{-14}$
100	$5,45 \times 10^{-14}$

Fonte: Harris (2012, p. 137)

A importância do produto iônico da água reside no fato de que seu valor é constante, não só na água pura, como também em soluções aquosas diluídas, como por exemplo, as águas naturais. Isso significa que se um ácido for dissolvido em água (o qual, em sua dissociação produz íons hidrogênio H^+), a concentração dos íons hidrogênio pode aumentar às expensas, unicamente, da concentração dos íons hidroxila OH^- .

Se, por outro lado, uma base for dissolvida, a concentração dos íons hidroxila aumentará e a concentração dos íons hidrogênio diminuirá. Pode-se definir mais precisamente o conceito de solução neutra, segundo esses critérios, como veremos a seguir. Uma solução é neutra, se contiver a mesma concentração de íons hidrogênio e íons hidroxila (equação 15), isto é, se:

$$[H^+] = [OH^-] \quad (15)$$

Portanto, numa solução neutra, teremos:

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = \sqrt{K_w} = 10^{-7} \text{ mol/L} \quad (16)$$

Numa solução ácida, a concentração de íons hidrogênio excede esse valor (equação 17), enquanto numa solução alcalina acontece o inverso (equação 18).

Assim:

$$[\text{H}^+] > [\text{OH}^-] \quad \text{solução ácida} \quad (17)$$

$$[\text{H}^+] < [\text{OH}^-] \quad \text{solução alcalina} \quad (18)$$

Nem todos os casos, a acidez ou alcalinidade de uma solução pode ser expressa quantitativamente em termos da magnitude da concentração hidrogeniônica (ou concentração de íons hidroxila). É suficiente o uso apenas de uma dessas concentrações para qualquer solução, pois se conhecendo uma delas sempre é possível calcular a outra pela equação:

Na análise química experimental lidamos frequentemente com baixas concentrações hidrogeniônicas. Para evitar incômodo de escrever números com fatores de potências negativas de 10, introduziu-se o uso do expoente hidrogeniônico ou pH, definido pela equação 19:

$$\text{pH} = - \log [\text{H}^+] \quad \text{ou} \quad [\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} \quad (19)$$

Diante disso, o pH é o logaritmo da concentração hidrogeniônica ou logaritmo do inverso da concentração hidrogeniônica. Das considerações acima, conclui-se que, na maioria dos casos, o pH das soluções aquosas permanece entre os valores de 0 a 14 (VOGEL, 2002).

De acordo com a definição de pH, tem-se que:

- a) Uma solução ácida $\text{pH} < 7$
- b) Uma solução alcalina $\text{pH} > 7$

3.9 Condutividade Elétrica

Condutividade elétrica é uma medida da habilidade de uma solução aquosa de conduzir uma corrente elétrica devido à presença de íons. Essa propriedade varia com a natureza do eletrólito total de substâncias ionizadas dissolvidas na água, tais como a

temperatura, com a mobilidade dos íons, com a valência dos íons e com as concentrações real e relativa de cada íon.

A condutividade elétrica pode ser expressa por diferentes unidades e, principalmente, por seus múltiplos. No Sistema Internacional de Unidades (S.I.), é reportada como Siemens por metro (S/m). Entretanto, em medições realizadas em amostras de água, utiliza-se preferencialmente microSiemens ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ou miliSiemens por centímetro (mS/cm). Para reportar dados de condutividade elétrica em unidades S.I., segue-se a relação $1\text{mS}/\text{cm} = 10 \mu\text{S}/\text{cm}$. Os Estados Unidos adotam-se a unidade mho/cm, mantendo a relação $\text{mho}/\text{cm} = \text{S}/\text{cm}$. Mercúrio ou álcool Escala Superin (FERREIRA PINTO, 2007).

Na legislação do Brasil não existe um limite superior deste parâmetro tido como aceitável. Porém, deve-se notar que oscilações na condutividade da água, ainda que não causem dano imediato ao ser humano, podem indicar tanto uma contaminação do meio aquático por efluentes industriais como o assoreamento acelerado de rios por destruição da mata ciliar (LÔNDERO; GARCIA, 2010).

A condutividade elétrica da água deve ser expressa em unidades de resistência (mho ou S) por unidade de comprimento (geralmente cm ou m). Até algum tempo atrás, a unidade mais usual para expressão da resistência elétrica da água era o mho (inverso de ohm), mas atualmente é recomendável a utilização da unidade S (Siemens). Enquanto as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar a 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (BRASIL, 2014).

3.10 Alcalinidade

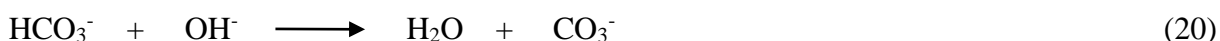
A origem da alcalinidade em água é dada devido a concentração de carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) e hidróxidos (OH^-). A alcalinidade é a capacidade que uma água tem de neutralizar um ácido forte, a um determinado pH. O valor obtido em uma análise pode variar consideravelmente com o pH da determinação. O parâmetro de medida da alcalinidade é uma propriedade “grosseira” da água e pode ser interpretada em termos de substâncias presentes, somente quando a composição da amostra é conhecida. A alcalinidade é significativa em muitos usos e tratamentos de águas naturais e efluentes. (MACÊDO, 2003)

A distribuição entre as três formas de alcalinidade na água (bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos) é função do seu pH: $\text{pH} > 9,4$ (hidróxidos e carbonatos); pH entre 8,3 e 9,4 (carbonatos e bicarbonatos); pH entre 4,4 e 8,3 (apenas bicarbonatos) (BRASIL,

2014).

Como a alcalinidade de muitas águas de superfície depende da concentração dos carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, ela é tomada como indicativo da presença destes constituintes; no entanto, também podem estar presentes boratos, fosfatos e silicatos. A determinação da alcalinidade tem grande importância para os profissionais que lidam com as instalações de tratamento de água, porque a ação dos coagulantes empregados no processo de clarificação das águas e na sua preparação para filtração requer uma determinada alcalinidade para assegurar a reação apropriada. Apesar da alcalinidade total depender das espécies químicas citadas anteriormente, ela é expressa em mg de $\text{CaCO}_3\text{L}^{-1}$ (BECKER, 2017)

O valor do conhecimento das concentrações dos íons (hidróxido, carbonato e bicarbonato), permite a definição de dosagens de agentes flocculantes, e fornece informações sobre as características corrosivas ou incrustantes da amostra de água analisada. Os íons responsáveis pela alcalinidade têm características básicas, sendo assim, reagem quimicamente com soluções ácidas, ocorrendo reação de neutralização. Não é possível a coexistência das três formas de alcalinidade numa mesma amostra, em função da reação química do íon bicarbonato com o íon hidróxido. O íon bicarbonato age como se fosse um ácido fraco na presença de uma base forte. (MACÊDO, 2003). Reação do íon bicarbonato com íon hidróxido (equação 20):

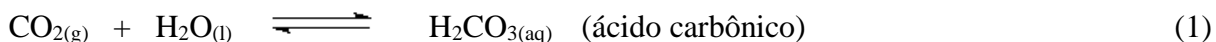


3.10.1 Origem da Alcalinidade nos Corpos Hídricos Naturais

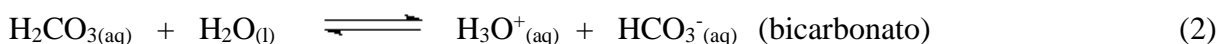
O importante agente da existência da alcalinidade nos corpos hídricos naturais, é o processo de dissolução do dióxido de carbono atmosférico e/ou proveniente da decomposição de material orgânico nas águas superficiais, inclusive, a interação desse gás com o calcário (CaCO_3) e a dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) das formações geológicas que suportam tanto águas superficiais como subterrâneas. (POHLING, 2009)

3.10.1.1 Formação da Alcalinidade de Bicarbonato

As reações 1 e 2 abaixo ocorrem entre o dióxido de carbono e a água da chuva, de rios, lagos, dos oceanos e águas subterrâneas.

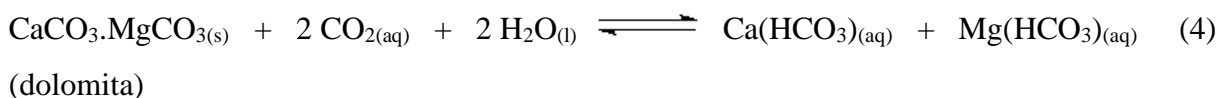
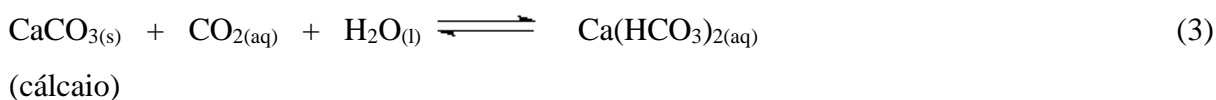


Dissociação do ácido carbônico:



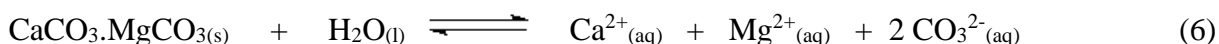
3.10.1.2 Reações do Dióxido de Carbono com o Calcário e a Dolomita:

O dióxido de carbono dissolvido nas águas naturais reage da seguinte forma com os minerais, calcário e dolomita (reações 3 e 4): (POHLING, 2009)



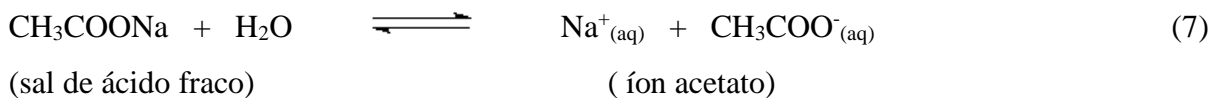
3.10.1.3 Alcalinidade de Carbonato

A alcalinidade de carbonato nas águas naturais fundamenta-se na dissolução do calcário, dolomita e outros minerais carbonatados presentes no solo, sem a interação do dióxido de carbono. (POHLING, 2009). Reação de dissolução do calcário e da dolomita (reações 5 e 6):

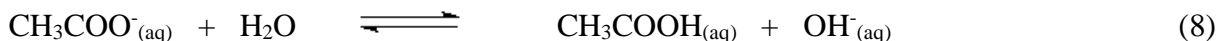


3.10.1.4 Alcalinidade de Hidróxido

A alcalinidade de hidróxido é ocasionada normalmente devido a poluição industrial e pela dissociação de sais de ácidos fracos e bases fortes. (POHLING, 2009). Reações de formação do íon hidróxido em águas naturais (reações 7 e 8):



Hidrólise do íon acetato:



3.11 Dureza Total

Dureza total determina a capacidade da água de precipitar sabão, ou seja, nas águas que apresentam sabões modificam-se em complexos insolúveis, não gerando sabão até que o procedimento termine. É provocado principalmente por íons de cálcio e magnésio, além de outros cátions como ferro, manganês, estrôncio, zinco, alumínio e hidrogênio associados a ânions carbonato e sulfato, principalmente, além de outros ânions como nitrato, silicato, cloreto, porém estes, em geral, estão em poucas quantidades e constantemente situa-se complexados em constituintes orgânicos (BECKER, 2017).

Define-se como sendo dureza total, o somatório das concentrações dos íons cálcio e magnésio, sendo ambos expressos em mg CaCO₃/L. As fontes mais comuns de ocorrência de íons de cálcio, magnésio e bicarbonato são os minerais calcário (CaCO₃) e dolomita. As águas naturais, com alto teor de CO₂ conectados com rochas calcárias e dolomíticas, tem a propriedade de dissolvê-las, convertendo-as em bicarbonato de Ca ou Mg solúveis (POHLING, 2009).

O cálcio e calcita têm sido consistentemente observados em escalas de corrosão formadas em tubos expostos à água com alta dureza (LI, LIU e CHEN, 2018). As águas duras provocam incrustações em tubulações, caldeiras, evaporadores, trocadores de calor e outras unidades nas quais se operam a altas temperaturas. As águas brandas indicam a vantagem de economizar combustível em equipamentos de evaporação, aquecedores etc., diminuindo a manutenção por incrustações. Todavia, águas brandas de dureza inferior a 30 mg CaCO₃/L podem ser corrosivas.

A dureza da água pode ser classificada de acordo com a tabela 7 abaixo:

Tabela 7 - Escala americana de grau de dureza da água

mg de CaCO ₃ L ⁻¹	Grau de dureza
0-75	Branda ou mole
75 -150	Moderada
150 – 300	Dura
Acima de 300	Muito dura

Fonte: Becker, (2017, p. 51)

De acordo com a Portaria Para águas de abastecimento, o padrão de potabilidade estabelece o limite de 500 mg/L CaCO₃. O tamanho desses valores usualmente não é encontrado em águas superficiais no Brasil, podendo ocorrer, em menor concentração, em aquíferos subterrâneos (BRASIL, 2014).

3.12 Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Os sólidos dissolvidos na água são compostos por sais inorgânicos e de materiais dissolvidos que normalmente são formados por 95% ou mais do peso sólidos totais na água (BECKER, 2017). Possuem partículas com diâmetro inferior a 10⁻³ µm e que persistem em solução mesmo depois da filtração (BRASIL, 2014). A concentração natural dos sais é levada pela composição geológica em que o corpo hídrico está estabelecido (BECKER, 2017). De acordo com a Resolução CONAMA n° 396 considera-se concomitante para o consumo humano concentração de até 1000 mg/L.

3.13 Cloreto (Cl⁻)

Entre os íons mais constantes nas águas está o cloreto, Cl⁻. O gosto salgado atribuído pelo o cloreto é versátil e decorre da concentração e da constituição química da água (POHLING, 2009). Nas águas doces, a presença de cloreto ocorre naturalmente ou pode ser resultante das poluições, por conta da água do mar, esgotos domésticos ou despejos industriais (BECKER, 2017).

A concentração de cloreto nos recursos hídricos de uma determinada região pode expandir por causa de efluentes de processos industriais e de salinas. A retirada do cloreto em estações de tratamento de água e esgoto é um processo um tanto quanto complexo, possibilitando sempre a presença desse íon nos recursos hídricos. O cloreto não sofre mudança de concentração através dos processos de tratamento de efluentes, sendo somente diminuída sua concentração por diluição, eliminação por trocador iônico, osmose reversa e

evaporação (POHLING, 2009).

De acordo com a Resolução CONAMA n° 396, em concentrações padrões o íon cloreto não causa mal ao ser humano. Em concentrações superiores a 250 ppm, eles concedem um sabor salgado a água. Por consequência, a concentração de íons cloreto em estações de abastecimento de água é limitada a 250 mg/L (BECKER, 2017).

O monitoramento dos níveis de cloreto é relevante na área industrial, pela razão de que esses íons potencializam processos corrosivos em tubulações metálicas. Cloretos associados aos íons sulfato podem promover intensos processos de corrosão em materiais metálicos e concreto (POHLING, 2009).

3.14 Ferro total

O ferro é o quarto elemento mais abundante na crosta terrestre, ficando atrás de elementos como, oxigênio, o silício e o alumínio. As águas naturais possuem pequenas quantidades de ferro em seu âmbito. Na água do mar, a quantidade difere entre 2 e 22 µg Fe/L e abrange o 22° lugar entre os elementos dissolvidos nos oceanos (POHLING, 2009).

O ferro em água geralmente está relacionado ao manganês, e os dois tem efeitos parecidos. No ponto de vista sanitário, pequenas quantidades de ferro e manganês não apresentam dano nenhum a saúde. O ferro age como incrustante, que à semelhança do cálcio e magnésio, poderá precipitar da solução, formando incrustações e obstrução nas tubulações (BECKER, 2017).

O ferro, apesar de ter uma baixa toxidez, traz diversos problemas para o abastecimento público de água. Concede cor e sabor à água, provocando manchas em roupas e utensílios sanitários. Além disso, traz o problema do desenvolvimento de depósitos em canalizações e de ferro-bactérias, provocando a contaminação biológica da água na própria rede de distribuição (MCNEILL; EDWARDS, 2001). Pode entrar em sistemas de abastecimento de água através da lixiviação de depósito naturais de minérios, lixo industrial de empresas, corrosão em tubulações e outras vias (POHLING, 2009).

Por esta razão, o ferro constitui-se em padrão de potabilidade, tendo sido estabelecida a concentração limite de 0,3 mg/L na PRC n° 05/17 MS. É também padrão de emissão de esgotos e de classificação das águas naturais.

4 METODOLOGIA

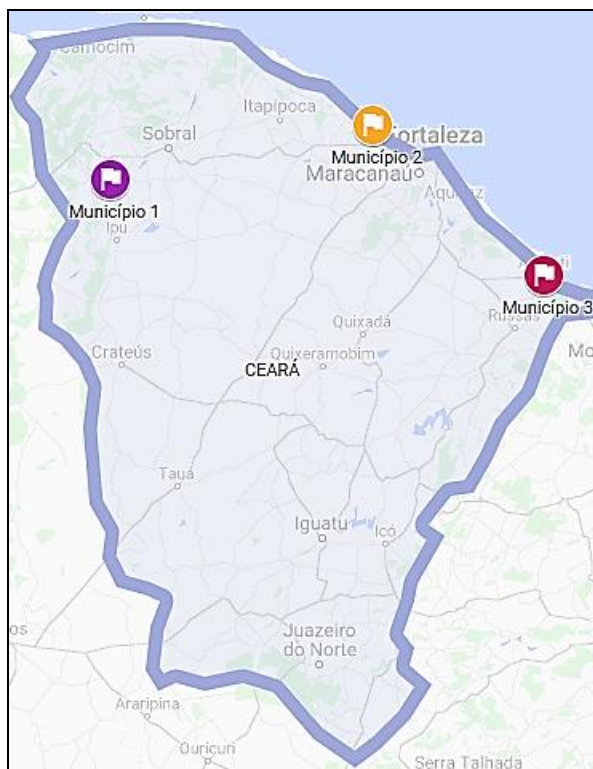
4.1. Coletas das amostras

As amostras de água de estações de tratamento de água (ETAs) e de redes de distribuição (RD) foram coletadas em três municípios localizados no estado do Ceará, e foi elaborado um mapa com os pontos de coleta, conforme a figura 16. Dois municípios são próximos ao litoral e o terceiro situa-se no noroeste do estado.

Foram coletadas cinco amostras em cada município, durante os meses de julho a setembro de 2019, sendo quatro em rede de distribuição (residências) e uma na estação de tratamento de água (ETA). As amostras foram coletadas, seguindo-se os procedimentos descritos no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Águas, Sedimentos e Efluentes da Agência Nacional de Águas (ANA, 2011).

Foram usados frascos adequados para os parâmetros analisados, previamente lavados e, após as coletas foram acondicionados em isopor com gelo e encaminhados ao laboratório de química ambiental (LQA) da divisão de tecnologia de alimentos e química (DITALQ) da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC), em caixas de isopor com gelo, até 24 horas, para serem analisadas.

Figura 16 – Mapeamento dos municípios



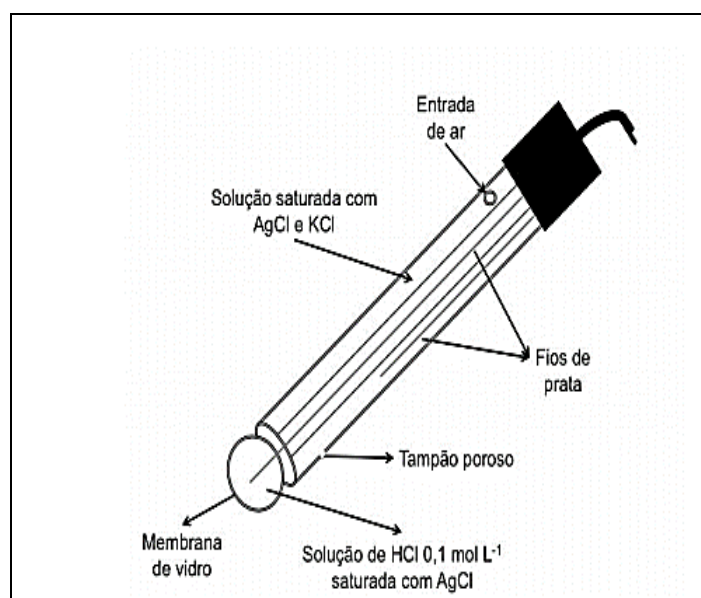
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2 Realização das análises físico-químicas

4.2.1. Determinação do pH: (4500 H⁺ B – APHA, 2012)

O pH foi determinado pelo método potenciométrico através de um eletrodo de vidro combinado (EVC) conectado a um potenciômetro. Responde seletivamente aos íons H⁺ devido o H⁺ ser o íon que se liga significativamente à camada de gel hidratada gerando um potencial elétrico na interface vidro/líquido (HARRIS, 2012). Quando a membrana está imersa em uma solução, o seu potencial é função linear da concentração de íons hidrogênio na solução (VOGUEL, 2002). A resistência elétrica de uma membrana de vidro é por volta de 10⁸ Ω, de tal modo que uma pequena corrente consegue realmente fluir através dela (HARRIS, 2012). O EVC pode ser representado da seguinte forma:

Figura 17 – Eletrodo de vidro Combinado para medida de pH.



Fonte: Sousa, *et al.* (2018, p. 3)

As medidas de pH foram realizadas com o pHmetro da marca Digimed. Inicialmente calibrou-se o sistema de eletrodo com soluções tampão de pH 4 e 7 em temperatura ambiente (25°C). Após o procedimento de calibração e limpeza do eletrodo, retirou-se uma alíquota de 50 mL de cada amostra e transferiu para um béquer. Imergiu-se o eletrodo em cada amostra, quando a leitura ficou estabilizada foi feita a leitura do pH. É válido ressaltar que no intervalo de cada medida o eletrodo foi lavado com bastante água destilada para evitar contaminação de uma amostra para a outra.

Figura 18 – pHmetro e eletrodo de vidro



Fonte: O autor.

4.2.2 Condutividade

4.2.2.1 Método

A razão pela qual a maioria dos equipamentos de medida da condutividade elétrica se fundamenta, baseia-se na medida de tensão quando uma corrente alternada é aplicada em dois eletrodos de uma célula de condutividade elétrica imersa em uma solução. É um procedimento muito sensível para a medição de concentrações iônicas, mas deve ser usada com cautela, pois qualquer espécie com carga elétrica presente numa solução, contribuirá para a condutância total (STEIDLE NETO, 2005).

4.2.2.2 Procedimento

As medidas da condutividade foram realizadas no condutivímetro da marca Digimed. A princípio, o sistema de eletrodo foi calibrado em uma solução padrão eletrolítica de $1412 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ em temperatura de 25°C . Em seguida, retirou-se uma alíquota de 50 mL de cada amostra e transferiu para um béquer. Imergiu-se o eletrodo em cada amostra, quando a leitura foi estabilizada mediu-se a condutividade. É válido salientar que o eletrodo foi lavado em abundância com água destilada no intervalo de cada medida.

Figura 19 – Condutivímetro



Fonte: O autor.

4.2.3 Determinação de Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Quando os valores de condutividade elétrica da água são disponíveis, existem vários processos para obtê-los.

Segundo Matthes (1982), a concentração dos sólidos totais dissolvidos (STD), foi calculada, aplicando-se a equação 21. Nesse estudo, a determinação de STD foi estimada pelo valor da condutividade (CE).

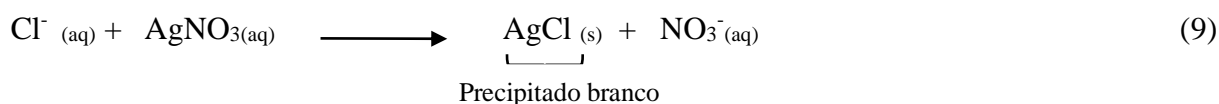
$$\text{STD} = 0,65 \times \text{CE} \quad (21)$$

Valores de condutividade estão descritos nas tabelas 8, 9 e 10.

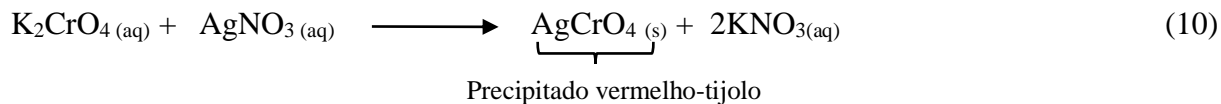
4.2.4 Determinação de Cloreto (Cl⁻)

4.2.4.1 Método

Um dos métodos para a determinação de íons cloretos é o método de Mohr, em que consiste em determinar o cloreto na amostra com a adição de um excesso de solução padrão de nitrato de prata (AgNO₃) usando como indicador cromato de potássio (K₂CrO₄), formando um precipitado vermelho-tijolo de cromato de prata (AgCrO₄) na região do ponto de equivalência (SKOOG *et al.*, 2015). A reação 9, mostra a reação química do Cl⁻ e AgNO₃:



A reação 10 mostra a reação química do AgNO_3 com o indicador K_2CrO_4 :



4.2.4.2 Procedimento

Transferiu-se uma alíquota de 50,0 mL, em duplicata, de cada amostra para erlenmeyeres de 250,0 mL. Em seguida, adicionou-se 1 mL de K_2CrO_4 (aq) 5%. Logo em seguida, agitou-se e titulou-se com AgNO_3 (aq). (figura 19).

Figura 20 - Ponto final da titulação através da mudança de coloração na determinação de cloreto



Fonte: O autor.

4.2.4 Determinação da Dureza de Cálcio (Ca^{2+})

4.2.4.1 Método

A determinação do Ca^{2+} foi realizada por meio de análise volumétrica de complexação, usando solução padrão de EDTA como reagente complexante em condições alcalinas (pH 12 – 13). Nessa faixa de pH, o magnésio é precipitado como hidróxido de magnésio $\text{Mg}(\text{OH})_2$ evitando, dessa forma, que o íon Mg^{2+} complexa com EDTA ou com o indicador. A reação 11, mostra a reação da precipitação do hidróxido de magnésio:

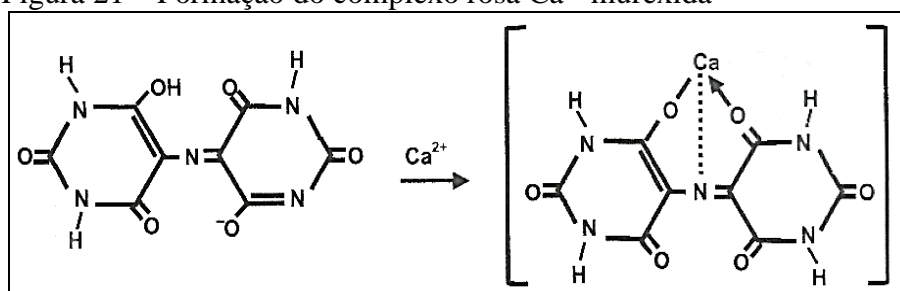


Com o magnésio precipitado, o indicador combinará somente com o íon cálcio e com o EDTA. Recomenda-se o uso de dois indicadores específicos para o cálcio, a murexida e o negro de eriocromo azul R (cálcon-erichrome blue black R). Quando adicionados ao analito, os indicadores complexam com íon cálcio e confere uma determinada coloração no meio.

Com a adição de EDTA, o Ca^{2+} abandona o complexo com o indicador e formando uma espécie com o titulante mais estável. Estes indicadores mudam sua cor quando todo o íon de cálcio for complexado pelo EDTA (POHLING, 2009).

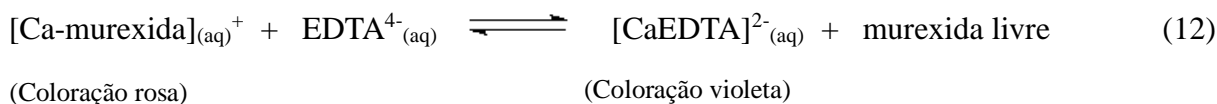
Quando necessário, utilizou-se trietanolamina para mascarar íons interferentes como: Cu^+ , Fe^{2+} e vários outros íons minoritários (HARRIS, 2012). A figura 20, mostra a reação da murexida com o íon de cálcio.

Figura 21 – Formação do complexo rosa Ca - murexida



Fonte: Pohling (2009, p. 57).

A reação 12, mostra a reação da titulação Ca^{2+} – Murexida com o EDTA.



No ponto de equivalência, ocorre a mudança de coloração do rósea para violeta, indicando que o Ca^{2+} abandona o indicador murexida e complexa com EDTA.

4.2.4.2 Procedimento

Transferiu-se alíquotas de 50,0 mL, em duplicata, de cada amostra para erlenmeyeres de 250,0 mL. Em seguida foram adicionados 2,0 mL de solução de NaOH 10 %,

quando necessário 3 gotas de trietanolamina e o indicador murexida. As amostras foram tituladas com solução padrão de EDTA 0,01 mol.L⁻¹ (figura 21).

Figura 22 – Alteração de coloração do ponto final



Fonte: O autor.

4.2.5 Dureza Total

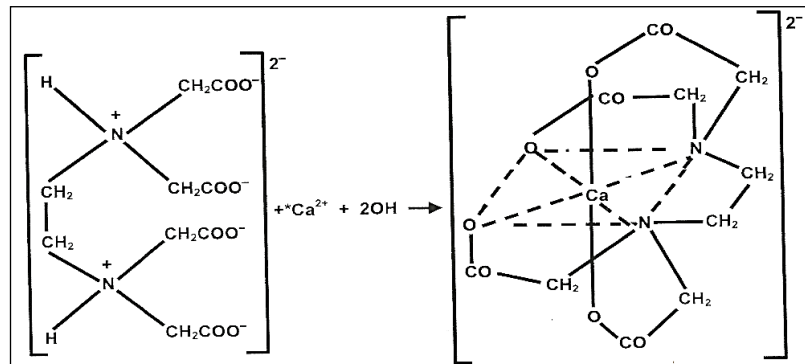
4.2.5.1 Método

A dureza total é a soma da dureza temporária e permanente, sendo expressa em miligrama por litro (mg L⁻¹) de CaCO₃ (PIVELI, 2012).

É determinada por meio de titulação de complexação, utilizando solução padrão de EDTA e o indicador negro de eriocromo T dando ao analito uma coloração vermelha-rosea.

Quando o titulante é adicionado reage com os íons de cálcio e magnésio livre, formando quelatos de Ca²⁺ e Mg²⁺. No ponto final, o EDTA remove os íons do complexo do indicador, provocando a mudança da cor vermelha para azul (POHLING, 2009). A figura 22, mostra a reação do EDTA com Ca²⁺ e Mg²⁺:

Figura 23 – Quelatos de Ca^{2+} e Mg^{2+}



Fonte: Pohling (2009, p. 138).

4.2.5.2 Procedimento

Foram transferidas alíquotas de 50,0 mL, em duplicata, de cada amostra para erlenmeyeres. Foram adicionados 3,0 mL da solução tampão pH 10, 3 gotas de trietanolamina e o indicador negro de eriocromo T. Em seguida as amostras foram tituladas com solução padrão de EDTA 0,01 mol.L⁻¹ (figura 23).

Figura 24 – Mudança da cor no ponto final



Fonte: O autor.

4.2.6 Determinação de Alcalinidade Total

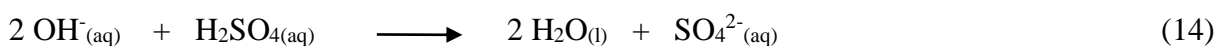
4.2.6.1 Método

A alcalinidade é determinada por meio da técnica de volumetria de neutralização, através de titulação direta de uma alíquota da amostra de água com solução de ácido forte, podendo ser H_2SO_4 0,01 mol.L⁻¹ ou HCl 0,02 mol.L⁻¹, na presença de indicador apropriado.

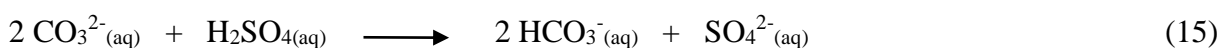
A titulação deve ser iniciada com uso do indicador fenolftaleína (figura 24), para teste da alcalinidade de hidróxido e carbonato. Ocorrendo a formação de uma coloração rosa, depois da adição de fenolftaleína, temos teste positivo para alcalinidade de hidróxido e carbonato, procedendo à titulação com solução ácida até a viragem para incolor (pH < 8,0).

Caso a solução ficasse incolor, era adicionado o indicador alaranjado de metila (figura 25). As reações 14, 15 e 16 mostram a reação de neutralização, usando-se uma solução padrão de ácido sulfúrico (H_2SO_4) como titulante.

a) Alcalinidade de hidróxido



b) Alcalinidade de carbonato



c) Alcalinidade de bicarbonato

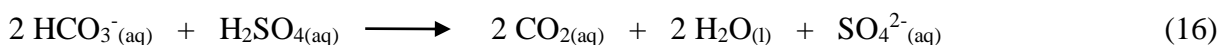
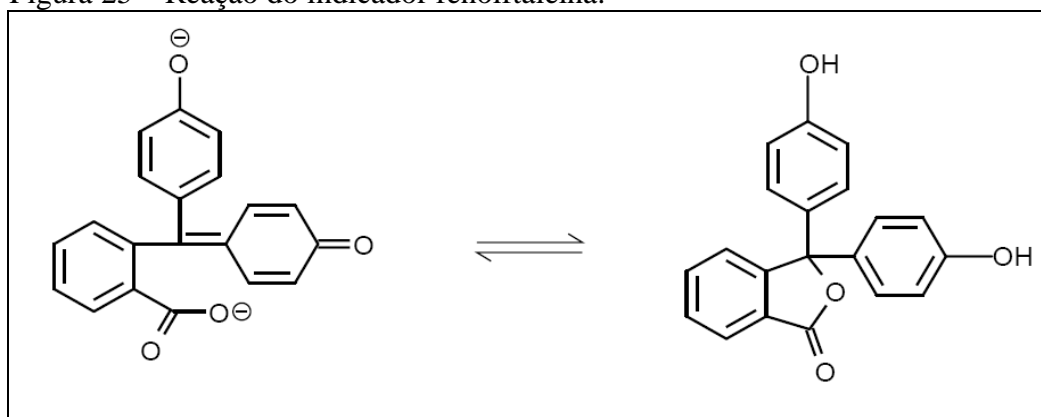


Figura 25 – Reação do indicador fenolftaleína:



Coloração rosa – pH > 8,3

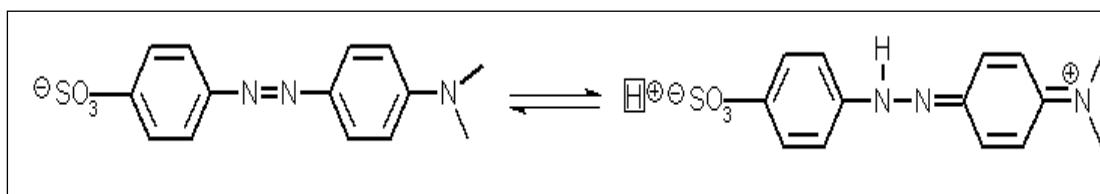
Fonte: Pohling, (2009, p. 23).

incolor – pH < 8,0

Em amostras que possuem alcalinidade de hidróxido e carbonato, prepondera a espécie que confere coloração rosa ao meio, devido a faixa de pH deslocar o equilíbrio acima para a formação da espécie rosa da fenolftaleína. Em amostras que não possuem alcalinidade de hidróxido, predomina a forma incolor (POHLING, 2009).

O indicador alaranjado de metila, utilizado na titulação, na sua forma alcalina é amarelo e começa a virar sua cor a partir de pH 4,4, tornando-se vermelho-alaranjado no pH 3,1 (POHLING, 2009).

Figura 26 – Reação do indicador alaranjado de metila:



Coloração vermelha (meio ácido)

Fonte: Pohling (2009, p. 25).

4.2.6.2 Procedimento

Transferiu-se alíquotas de 50,0 mL, em duplicata, erlemeyeres de 250,0 mL, foram adicionados primeiramente 6 gotas de solução alcoólica de fenolftaleína para teste da alcalinidade devido a presença de íons hidróxido e carbonato. Como não houve aparecimento de coloração rosa nas amostras, foram adicionadas 6 gotas de indicador alaranjado de metila (metil-orange). Em seguida as amostras foram tituladas com solução padrão de H_2SO_4 – 0,02N.

Figura 27 – Mudança de cor no ponto final da determinação da alcalinidade total.



Fonte: O autor.

4.2.7 Determinação de Ferro

4.2.7.1 Método

A concentração de ferro total pode ser determinada através dos íons de sua forma ferrosa (Fe^{2+}). Para que isto ocorra todos os íons de ferro serão reduzidos para seu estado Fe^{2+} com cloridrato de hidroxilamina em meio ácido ($\text{pH} = 3,5$). Diante disso, a ortofenantrolina é adicionada e reage com os íons de ferro ferroso para formar um complexo de cor alaranjado (figura 26) podendo ser determinado no espectrofotômetro no comprimento de onda de 510 nm. Vale ressaltar que a intensidade da cor do complexo alaranjado é diretamente proporcional a concentração de ferro na amostra (POHLING, 2009). A reação 15, mostra a redução de Fe^{3+} para Fe^{2+} com cloridrato de hidroxilamina.

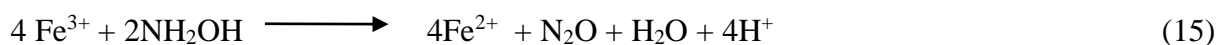
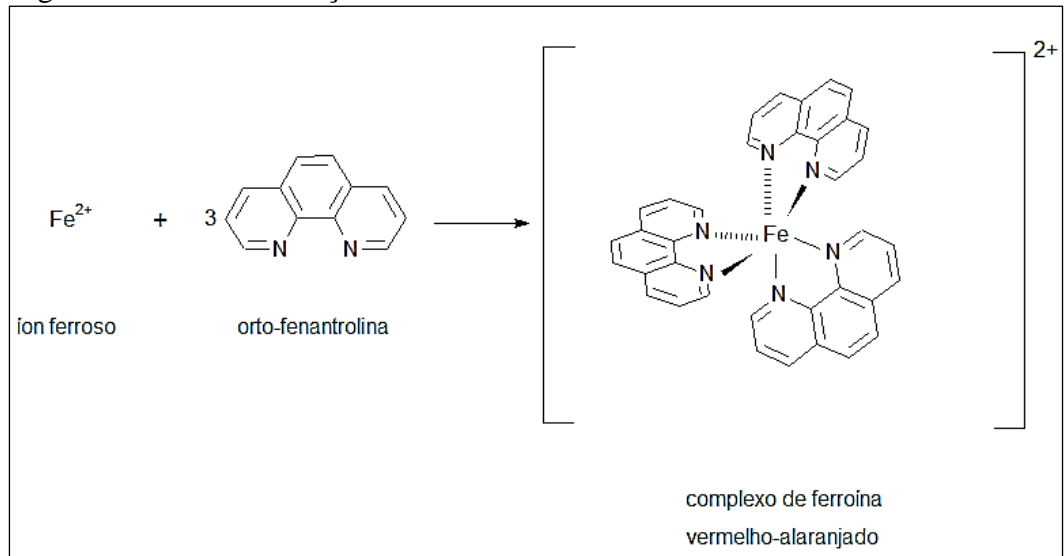


Figura 28 – Mostra a reação de Fe^{2+} com orto-fenantrolina.



Fonte: Pohling (2009, p. 155).

Figura 29 – Complexo de Ferrioxalato



Fonte: O autor.

4.2.7.2 Procedimento

Transferiu-se uma alíquota de 50 mL, em duplicata de cada amostra para

erlenmeyeres de 500,0 mL, adicionaram-se 2,0 mL de ácido clorídrico (HCl) concentrado e 1,0 mL de solução de cloridrato de hidroxilamina. Aqueceu-se durante 5min. Esperou-se esfriar e, em seguida, adicionou-se 10,0 mL de solução de acetato de amônio. Posteriormente, adicionou-se 4,0 mL de orto-fenantrolina, homogeneizou-se e deixou em repouso durante 10 minutos. As leituras foram realizadas no espectrofotômetro Orion AquaMate 8000 (figura 28), no comprimento de onda de 510 nm.

Figura 30 - Espectrofotômetro



Fonte: O autor

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Resultados Experimentais

Todas as análises das amostras de água das (ETAs) e rede de distribuição foram realizadas em duplicatas e calculadas as médias aritméticas dos resultados obtidos. As coletas foram realizadas no período de julho a setembro de 2019. As tabelas 8, 9 e 10 apresentam os resultados das análises físico-químicas e os valores máximos permitidos para cada parâmetro estabelecidos pela PRC nº 05/2017 MS.

Tabela 8 – Resultados médios obtidos para o município 1

Parâmetros	RESULTADOS MÉDIOS DO MUNICÍPIO 1					PRC nº 05/17
	M1	M2	M3	M4	ETA 1	
Alcalinidade total (mgCaCO ₃ L ⁻¹)	45,9	49,9	43,9	63,3	45,9	*
Bicarbonatos (mgHCO ₃ L ⁻¹)	146,0	150,9	143,6	150,9	143,6	*
Carbonatos (mgCO ₃ L ⁻¹)	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	*
Hidróxidos (mgOHL ⁻¹)	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	*
Dureza total (mgCaCO ₃ L ⁻¹)	29,1	37,1	29,1	32,1	26,1	≤ 500,0
Cálcio (mgCa ²⁺ L ⁻¹)	8,0	10,4	8,4	13,6	8,0	*
Cloretos (mgClL ⁻¹)	25,0	26,0	23,0	24,0	24,0	≤ 250,0
Ferro total (mgFeL ⁻¹)	4,4	0,8	0,6	0,6	0,5	≤ 0,3
pH a 25°C	7,42	7,71	7,47	7,80	7,40	6,0 a 9,5
Condutividade (microS.cm ⁻¹)	141,80	142,85	135,20	131,75	135,38	*
Sólidos totais dissolvidos (mg.L ⁻¹)	92,2	92,9	87,9	85,3	88,0	≤ 1.000

Fonte: elaborado pelo autor

* Valor não estabelecido

LQ - Limite de Quantificação

Com base nos resultados da tabela 8, observa-se que os valores de pH, dureza total, STD e cloretos das amostras estão dentro dos limites estabelecido pela PRC nº 05/2017 MS para o consumo humano. Os valores para alcalinidade, bicarbonato, cálcio e condutividade não tem nenhum significado sanitário. Contudo, níveis elevados tanto de alcalinidade quanto de cálcio podem trazer sabor desagradável à água (PEREIRA *et al.*, 2010). Segundo Pohling (2009), quando há presença de bicarbonato em combinação com cálcio e magnésio, formam incrustações nas tubulações e, como também, podem liberar CO₂

corrosivo. Os valores das concentrações de carbonato e hidróxido são menores que o mínimo para quantificá-los, isso ocorre devido ao pH ser menor do que 8,3.

As amostras M1, M3 e da ETA 1, apresentam dureza inferior a $30 \text{ mg CaCO}_3\text{L}^{-1}$ o que indica uma característica corrosiva. A concentração de ferro total das amostras encontra-se maior do que permitido pela legislação podendo ser justificado por uma provável corrosão nas tubulações. Consequentemente, ocorre a liberação de subprodutos da corrosão do ferro solúvel ou particulado na água o que provoca sabor amargo e diminui sua qualidade estética. O que leva muitas vezes os consumidores chamarem este problema de “água vermelha” (MCNEILL ; EDWARDS, 2001).

Tabela 9 – Resultados médios obtidos para o município 2

Parâmetros	RESULTADOS MÉDIOS DO MUNICÍPIO 2					PRC nº 05/17
	M5	M6	M7	M8	ETA2	
Alcalinidade total ($\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$)	61,8	57,9	57,9	85,8	191,5	*
Bicarbonatos ($\text{mgHCO}_3\text{L}^{-1}$)	71,5	70,6	70,6	80,3	233,7	*
Carbonatos ($\text{mgCO}_3\text{L}^{-1}$)	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	*
Hidróxidos (mgOHL^{-1})	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	*
Dureza total ($\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$)	39,7	42,1	40,1	44,1	107,5	≤ 500,0
Cálcio ($\text{mgCa}^{2+}\text{L}^{-1}$)	8,0	8,0	8,8	9,6	32,9	*
Cloretos (mgCl.L^{-1})	13,0	13,0	14,0	14,0	42,1	≤ 250,0
Ferro total (mgFeL^{-1})	0,7	0,6	0,5	0,6	0,05	≤ 0,3
pH a 25°C	7,85	7,63	7,99	7,67	7,93	6,0 a 9,5
Condutividade (microS.cm^{-1})	135,34	134,67	132,97	140,95	340,5	*
Sólidos totais dissolvidos (mg.L^{-1})	88,0	87,5	86,4	91,6	221,3	≤ 1.000

Fonte: Elaborado pelo autor

* Valor não definido

LQ - Limite de Quantificação

Tabela 10 – Resultados médios obtidos para o município 3

Parâmetros	RESULTADOS MÉDIOS DO MUNICÍPIO 3					PRC nº 05/17
	M9	M10	M11	M12	ETA3	
Alcalinidade total (mgCaCO ₃ L ⁻¹)	119,7	123,7	117,7	123,7	117,7	*
Carbonatos (mgCO ₃ L ⁻¹)	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	*
Hidróxidos (mgOHL ⁻¹)	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	*
Dureza total (mgCaCO ₃ L ⁻¹)	126,3	128,3	132,3	130,3	128,3	≤ 500,0
Cálcio (mgCa ²⁺ L ⁻¹)	36,9	35,3	36,9	35,3	39,3	*
Cloretos (mgCLL ⁻¹)	30,0	61,1	63,1	62,1	31,0	≤ 250,0
Ferro total (mgFeL ⁻¹)	1,0	1,2	0,6	1,3	1,3	≤ 0,3
pH a 25°C	6,98	6,78	6,83	7,5	7,28	6,0 a 9,5
Condutividade (microS.cm ⁻¹)	353,0	356,0	354,7	343,7	353,6	*
Sólidos totais dissolvidos (mg.L ⁻¹)	229,5	231,0	230,6	223,4	229,8	≤ 1.000

Fonte: Elaborado pelo autor

* Valor não definido

LQ - Limite de Quantificação

Baseado nos resultados das tabelas 8 e 9, nota-se que os parâmetros: pH, dureza total, STD e cloretos estão dentro da conformidade da legislação. No entanto, a concentração de ferro total encontra-se maior do que permitido pela legislação, exceto a amostra da ETA do município 2, o que podemos associar a uma possível corrosão nas tubulações. Deve-se ressaltar que o íon Cl⁻, mesmo que ele esteja presente em concentrações aceitáveis pela legislação, ele pode causar destruição da passivação dos aços inoxidáveis e das ligas de alumínio, visto que ele pode penetrar na camada passivante de óxidos, de cromo e de alumínio, respectivamente, ou dispersá-las sob a forma coloidal, causando a corrosão por pite (CARVALHO, 2003).

5.2 Índices de Estabilidade

Por meio da substituição dos resultados físico-químicos (alcalinidade, cálcio e STD) apresentado nas tabelas 8, 9 e 10 nas equações 1 e 2, foram calculados os valores dos índices de Langelier (IL) e pH de saturação (pH_s) das amostras através dos termos A, B, C e D, componentes da equação 2. Além disso, foi calculado através da equação 3 o índice de Ryznar. Os valores obtidos estão nas tabelas 11, 12 e 13 abaixo.

Tabela 11–Valores dos índices de estabilidade e das amostras do município 1

MUNICÍPIO 1				
Amostras	IL	Tendência	RSI	Tendência
ETA 3	-1,5204	Corrosiva	10,4408	Corrosiva
M1	-1,5024	Corrosiva	10,4248	Corrosiva
M2	-1,1418	Corrosiva	9,9136	Corrosiva
M3	-1,4483	Corrosiva	10,3666	Corrosiva
M4	-0,749	Corrosiva	9,298	Corrosiva

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 12 – Valores dos índices de estabilidade e das amostras do município 2

MUNICÍPIO 2				
Amostras	IL	Tendência	RSI	Tendência
ETA2	0,2046	Estabilizada	7,5208	*
M5	-0,9414	Corrosiva	9,7328	Corrosiva
M6	-1,1892	Corrosiva	10,0084	Corrosiva
M7	-0,7876	Corrosiva	9,5652	Corrosiva
M8	-0,9011	Corrosiva	9,4722	Corrosiva

Fonte: Elaborada pelo autor

*Não há deposição de CaCO₃

Tabela 13 – Valores dos índices de estabilidade e das amostras do município 3

MUNICÍPIO 3				
Amostras	IL	Tendência	RSI	Tendência
ETA3	-0,5821	Corrosiva	8,4442	Corrosiva
M9	-0,901	Corrosiva	8,782	Corrosiva
M10	-1,1063	Corrosiva	8,9926	Corrosiva
M11	-1,0592	Corrosiva	8,9484	Corrosiva
M12	-0,9349	Corrosiva	8,8198	Corrosiva

Fonte: Elaborada pelo autor

Podemos observar, de acordo com as tabelas 10 e 12, que as catorze amostras analisadas, no que se refere à correlação aos índices calculados, possuem tendência corrosiva tanto para índice de Langelier quanto para o índice de Ryznar. Na tabela 11, apenas a amostra da ETA do município 2 apresentou caráter considerado potável para os dois índices. O que colabora para afirmar coesão entre os índices. Cabe ressaltar que valores de IL = 0 geralmente não é encontrado, logo valores entre -0,3 e 0,3 são considerados ótimos e valores entre -0,5 e 0,5 ainda são considerados aceitáveis (BECKER, 2017).

Gentil (2011) aborda que os valores maiores que 8 para o índice de Ryznar, tem uma maior probabilidade de corrosão porém não especifica o quanto pode ser corrosivo o analito. No entanto, Grades (2004) aborda que valores entre 7,5 e 9 para o índice de Ryzmar apresentariam corrosão forte e maiores que 9, severa. Diante disso, as amostras do município 3 e amostra de ETA do município 2 apresentariam uma corrosão considerada forte, enquanto

para as demais amostras apresentariam uma corrosão considerada severa.

De acordo com Lastoria *et al.*, (2013) os parâmetros (IL) e (RSI) são de extrema importância, mesmo que não estejam presentes nas normas brasileiras de potabilidade e qualidade das águas, detectam a capacidade de corrosão e incrustação da água.

Quanto ao meio corrosivo, entre vários fatores que estão associados ao desencadeamento e progresso da corrosão das tubulações estudados, são atribuídos principalmente as características físicas e químicas do meio, contato com a atmosfera e com o solo. A influência dos materiais metálicos com o meio aquoso possibilita o contato com sais dissolvidos e, porventura, a um meio com características ácidas e básicas que induz a criação de um eletrólito que permite a geração de pilhas eletroquímicas (CARVALHO *et al.*, 2016).

Cabe ressaltar que os municípios 2 e 3 encontram-se em áreas litorâneas o que favorece a corrosão e incrustações as tubulações devido a umidade atmosférica, ventos fortes e temperatura elevadas. Como consequência, as estruturas metálicas sofrem muitas oscilações mecânicas, visto que os metais são bons condutores de temperatura e energia, estes podem vir a ter variações devido às dilatações e compressões do material, o que acarreta o enfraquecimento do metal deixando-o passivo à corrosão (CARVALHO *et al.*, 2016). Em relação ao município 1, localizado no noroeste do Ceará, temperaturas elevadas, clima seco e solos arenosos podem contribuir para o processo de corrosão externamente e internamente nas tubulações da região.

5.3 Estudo estatístico dos resultados

Quando se trabalha dentro de um laboratório, estamos envolvidos diretamente com cálculos que são necessários para representar o trabalho realizado.

Para isto caímos num tipo de matemática conhecida por estatística. A estatística é uma ciência matemática que tem por finalidade realizar o estudo dos acontecimentos e eventos, e a previsão dos mesmos.

Para uma maior confiabilidade dos resultados obtidos, as análises foram realizadas em duplicatas e, para cada duplicata foi calculada a média entre elas (gráfico 1). Também foi adotado o valor máximo de 0,5 para a diferença entre as duplicatas de cada titulação ou medida. Para o cálculo das concentrações dos resultados obtidos, foi colocada na fórmula a média calculada para cada parâmetro analisado.

6 CONCLUSÃO

Tomando-se por base nos resultados obtidos dos estudos físico-químicos e dos índices de estabilidade de água, podemos concluir que o estudo proporciona respostas viáveis para a previsão da tendência corrosiva e incrustante das amostras analisadas de ETA e de rede de distribuição. Mostrou que a maioria das amostras, exceto a amostra de ETA do município 2 que se apresentou potável, possuem tendência corrosiva. Vale ressaltar que é considerado o índice de Ryznar o mais apropriado para a avaliação deste parâmetro.

Avaliou-se a dureza total e mostrou-se que as amostras M1, M3 e de ETA, apresentaram dureza inferior a 30 mg CaCO₃/L o que pode acarretar agressividade das águas.

Para agregar aos resultados dos índices avaliou-se a concentração de ferro que se apresentou com valores maiores do que permitido pela legislação indicando provável corrosão nas tubulações.

Os índices de estabilidade, mesmo não estando presentes nas normas brasileiras, são excelentes ferramentas de baixo custo que podem auxiliar na melhoria e manutenção preventiva dos problemas causados por corrosão em tubulações de abastecimento de água.

Por fim, é essencial acomodar adequadamente as tubulações em lugares menos propícios a corrosão, além da manutenção através da realização da limpeza e pintura dos equipamentos, com a finalidade de remover áreas corroídas e retardar o processo.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas (ANA). **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Águas, Sedimentos e Efluentes**. Brasília: ANA, 2011. 326p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12211**: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro, 1992.

AUGUSTO, Lia Giraldo da Silva *et al.* O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Ciência & saúde coletiva**, v. 17, p. 1511-1522, 2012.

AZEVEDO NETTO, J.M. *et al.* **Manual de Hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Blücher Ltda, 2015. 371 p.

BECKER, Helena. **Apostila de Controle Analítico de Águas**. 6. ed., Fortaleza: [s.n], 2017. 71 p.

BERNARDO, L. DI; PAZ, L. P. S. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**. São Carlos: LDiBe, 2010. 1 v. 868 p.

BRASIL, Lei Nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**, regulamenta o inciso XIX do art. 21. 2010. 9433-97 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília, DF, 2014.

BRASIL, Portaria de Consolidação nº 05, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde. **Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde**. 2017. Disponível em: < <http://portalms.saude.gov.br> > Acesso em: 11 ago. 2019.

CASARIN, Fátima; SANTOS, Mônica dos. **Água, o ouro azul**: Usos e abusos dos recursos hídricos. 1. ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2018.

CARVALHO, Carla Caroline Alves *et al.* Análise do Processo Corrosivo Sofrido nos Equipamentos e Tubulações do Reservatório de Abastecimento Hídrico da Cidade de Pau dos Ferros. In: **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC**. 2016.

CAVAZZANA, Guilherme Henrique *et al.* Análise de agressividade e incrustação das águas subterrâneas na região urbana de Campo Grande – MS. **Águas Subterrâneas**,. v. 26, n. 1. 83-97. p. março/maio 2012.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357**, de 17 de março de 2005. Brasília, 2005.

DANTAS, E. **Geração de vapor e água de refrigeração: Falhas- Tratamentos – Limpeza**

Química. Rio de Janeiro: José Olímpio. 1988.

DE MESQUITA, André Pina; KELLNER, Erich. Avaliação do índice de Langelier em sistemas de distribuição de água de São Carlos (SP), suprido por manancial subterrâneo: Estudo de estabilização. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades.** 2015. 3 v. 14 n.

FRAUCHES-SANTOS, Cristiane *et al.* A corrosão e os agentes anticorrosivos. **Revista virtual de química.** 6 v. n. 2, 293-309 p. 2014.

GABRIEL, Dayana Karla de Souza. **Dimensionamento de uma rede de abastecimento de água de uma área delimitada do município de Japi-RN com a utilização do sistema UFC.** 2018. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018. Disponível em: < <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/13583/1/DKSG26062018.pdf> >. Acesso em: 20 de ago. 2019.

GENTIL, Vicente. **Corrosão.** 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 356 p.

GIROL, Guilherme Violato. **Análise de perdas reais em um setor do sistema de abastecimento de água no município de Capinzal-SC.** 2008. 60 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/124431> >. Acesso em: 12 de set. de 2019.

GOMES, Heber Pimentel. **Sistemas de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes Elevatórias.** 2. ed. João Pessoa: UFPB, 2004. 242 p.

GRADES, E. des A. **Modelling and Simulation of CO2 Release in Multiple-Effect Distillers for Seawater Desalination.** Jordaniem, 2004. p 78-84. Dissertation (Doktor-Ingenieur). Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg in Tafilah

HARRIS, Daniel C. **Análise química analítica quantitativa.** 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 893 p.

HELLER, Léo; DE PÁDUA, Valter Lúcio. **Abastecimento de água para consumo humano.** 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2016. 1 v. 415 p.

HELLER, Léo; DE PÁDUA, Valter Lúcio. **Abastecimento de água para consumo humano.** 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2016. 2 v. 869 p.

LEONETI, Alexandre Bevilacqua; DO PRADO, Eliana Leão; DE OLIVEIRA, Sonia Valle Walter Borges. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. **Revista de Administração Pública-RAP.** v. 45, n. 2 , p. 331-348. 2011.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 3. ed. Campinas: Átomo, 2010. 477 p.

LI, Manjie; LIU, Zhaowei; CHEN, Yongcan. Physico-chemical characteristics of corrosion

scales from different pipes in drinking water distribution systems. **Water**. v. 10, n. 7, 931 p. 2018

LÔNDERO, E.; GARCIA, C. Sovergs. **Site Higienistas**, 2010. Disponível em: < <http://www.sovergs.com.br/site/higienistas/trabalhos/10474.pdf> > Acesso em: 18 set. de 2019.

MACÊDO, Jorge Antônio Barros de. **Métodos Laboratoriais de Análises Físico-Químicas e Microbiológicas**. 2. ed. Belo Horizonte: CRQ-MG, 2003. 978 p.

MAINIER, Fernando B. *et al.* **Aspectos da corrosão de tubos galvanizados utilizados na construção civil**. In: IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2001. Paraná. **Anais...** Paraná: ENTAC. 16-19 p. 7-10 maio de 2002.

MATTHESS, G. **The Properties of Groundwater**. Department of Environmental Science, John Wiley and Sons Inc., New York, 1982. 406 p.

MCNEILL, Laurie S.; EDWARDS, Marc. Iron pipe corrosion in distribution systems. **Journal-American Water Works Association**. v. 93, n 7, p. 88-100 2001.

PEREIRA, Simone de Fátima Pinheiro et al. Condições de potabilidade da água consumida pela população de Abaetetuba-Pará. **Revista de estudos ambientais**. v. 12, n. 1, p. 50-62, jan./jun. 2010.

PIERRE, R. Roberge. **Handbook of Corrosion Engineering**. 1. ed. McGraw-Hill New York, 1999, 14-15 p.

PINTO, Magda Cristina Ferreira. **Manual medição in loco: temperatura, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido**. CPRM/Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte., v. 30, n. 06, p. 2010, 2007.

POHLING, Rolf. Reações **Químicas na Análise de Água**. 1. ed. Arte Visual. Fortaleza, 2009. 331 p.

RAZZOLINI, Maria Tereza Pepe; GÜNTHER, Wanda Maria Risso. Impactos na saúde das deficiências de acesso a água. **Saúde e Sociedade**. 2008. v. 17, 21-32 p. 2008

RIBEIRO, Luiz Gustavo Gonçalves; ROLIM, Neide Duarte. Planeta água de quem e para quem: uma análise da água doce enquanto direito fundamental e sua valoração mercadológica. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**. 2017. v. 7, n 1, 2017.

RICHTER, Carlos A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2009. 352 p.

RIGUETO, Yasnin Ribeiro. **Determinação de dureza em água fluvial na bacia do Córrego Sujo - Teresópolis por Espectrofotometria de Absorção Molecular no UV-Vis**. 2014. 68 f. TCC (Graduação). Curso de Química Industrial, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014. Disponível em: < <https://app.uff.br/riuff/handle/1/5268> > . Acesso em: 2 de ag. 2019.

SILVA, Francinaldo de Brito. **O sistema de abastecimento d'água da cidade de**

santa. 2016. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016. Cap. 3. Disponível em: <
http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/copy_of_2016.1/o-sistema-de-abastecimento-d2019agua-da-cidade-de-santa-rita-pb.pdf >. Acesso em: 2 de set. 2019.

SKOOG, Douglas A. *et al.* **Fundamentos de química analítica**. 9. ed. São Paulo: Cengage, 2008.

DA SILVA, Jonatas Gomes *et al.* Determinação Condutométrica e Potenciométrica de Ácido Acetilsalicílico em Aspirina®: Uma Sugestão de Prática para a Análise Instrumental. **Revista Virtual de Química**. 2018. v. 10, n. 3, 2018.

STEIDLE NETO, Antonio J. *et al.* Avaliação de um circuito eletrônico para medição da condutividade elétrica de soluções nutritivas. **Embrapa Hortaliças-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2005.

TAJCHMAN, GERSON. Corrosão em tubos do aço galvanizado de instalações hidráulicas domiciliares. **Revista DAE**. n. 45(141): 141-7. São Paulo, 1985.

TELLES, Pedro Carlos da Silva. **Tubulações industriais: materiais, projeto e montagem**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 250 p.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Biblioteca Universitária. **Guia de normalização de trabalhos acadêmicos da Universidade Federal do Ceará**. Fortaleza, 2013

VOGEL, Arthur Israel *et al.* **Análise química quantitativa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. 447 p.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: UFMG: SEGRAC. 2005. 1 v., 452, p.